Una rete globale per l'energia elettrica

Dicembre 2017 € 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it
edizione italiana di Scientific American

L'enigma dei neutrini

L'esperimento più grande di tutti i tempi riuscirà a svelare la natura delle particelle più sfuggenti?

Dossier

Dalla crisi di credibilità in occidente alle opportunità nelle potenze emergenti, lo stato della scienza nel mondo

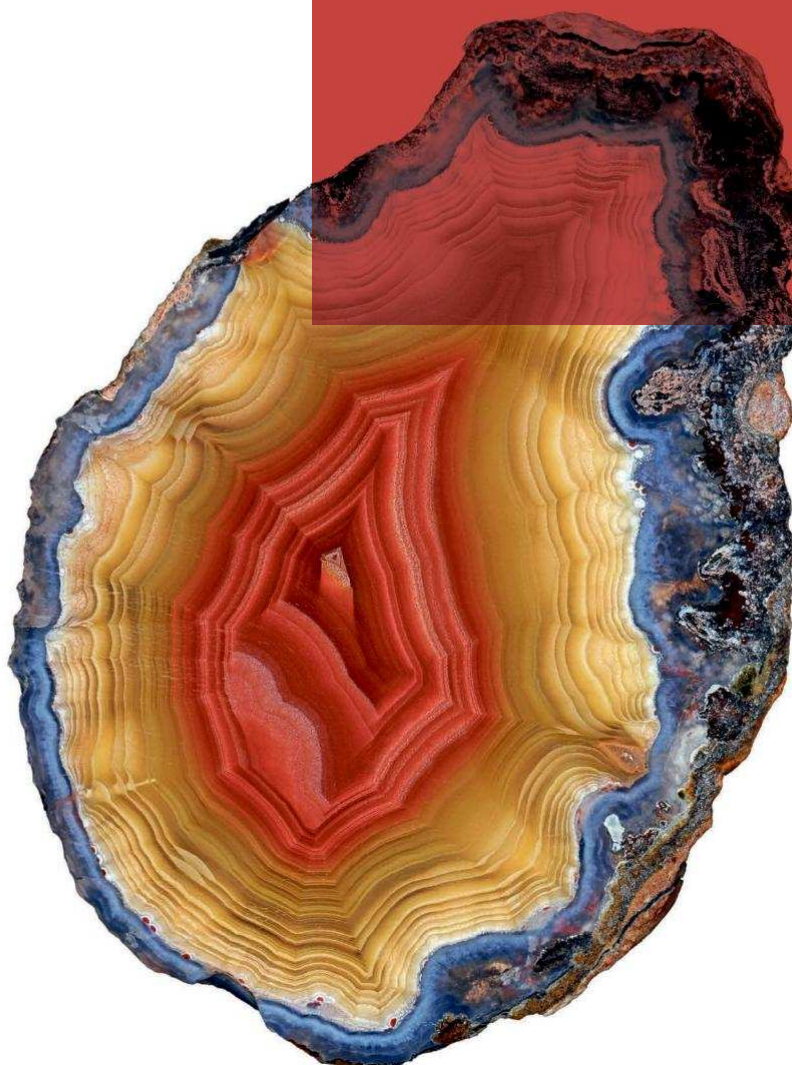
Biologia dello sviluppo

Nuove scoperte sulla placenta, il primo organo del bambino

Robert M. Hazen

BREVE STORIA DELLA TERRA

Dalla polvere di stelle
all'evoluzione della vita.
I primi 4,5 miliardi di anni

IN COPERTINA

Un esperimento ambizioso progettato negli Stati Uniti potrebbe risolvere il mistero della massa dei neutrini e quindi aggiungere un altro tassello alle nostre conoscenze sulle particelle elementari. (Illustrazione di Mark Ross Studios)

Sommario

dicembre 2017 numero 592

54

Fotografia di Ben Rollins

Sommario

10

18

91

Rubriche

Poras Chaudhary/Getty Images (*in alto*); 4FR/iStock (*al centro*); Magone/iStock (*in basso*)

SCIENZA NEWS

di Marco Cattaneo

La notte della ricerca

L'emorragia dei finanziamenti non accenna a fermarsi

La scienza non se la passa bene, dalle nostre parti e di questi tempi. Non che abbia mai ricevuto trattamenti di favore, intendiamoci, ma in altre stagioni ha goduto di qualche rispetto e di un certo prestigio.

Un esempio. Mi informa Vito Mocella, rappresentante del personale nel consiglio d'amministrazione (CdA) del Consiglio nazionale delle ricerche (CNR), che il fondo ordinario dell'ente, ora all'esame delle Camere, ammonta per il 2017 a 509,6 milioni di euro, il 10 per cento in meno del 2010 (con circa 8500 dipendenti; per confronto, la Max-Planck Gesellschaft ha un finanziamento di 1,8 miliardi con oltre 18.000 dipendenti). La spesa per gli stipendi equivale a 457,6 milioni di euro, a cui vanno aggiunti 24,3 milioni per l'accantonamento del trattamento di fine rapporto e 9,1 di buoni pasto, arrivando a 491 milioni. A questi vanno sommate le spese per le locazioni, quelle per elettricità e riscaldamento, insomma tutto ciò che serve per tenere aperte le strutture. A spanne, si arriva a coprire tutto il fondo ordinario, se non di più. Tanto che il 31 ottobre il CdA ha rinviato al 1° dicembre 2018 la presa di servizio dei vincitori degli ultimi concorsi, che doveva avvenire entro la fine di quest'anno.

E i fondi per la ricerca? Beh, te li devi cercare, appunto, altrimenti che ricercatore sei? In realtà ci sono le assegnazioni vincolate – ovvero fondi che vengono erogati per i progetti bandiera e i progetti di interesse nazionale (PRIN), che però vengono stanziati col contagocce e nemmeno tutti gli anni, e le attività di ricerca di valenza internazionale, ma sono fondi già assegnati – e poi si può competere per i *grant* europei. Ma se ne resti fuori non hai alcuna possibilità di fare il tuo lavoro.

A parte rarissime eccezioni, l'Università e gli altri enti di ricerca non versano in condizioni migliori (e stendiamo un velo pietoso sul modo in cui sono stati assegnati i 7 miliardi di euro dei PON ricerca e competitività, di cui abbiamo parlato nel settembre 2016). Viviamo in uno Stato che paradossalmente prende le sue migliori risorse, e i ricercatori scientifici sono tra queste, e le paralizza. E non abbiamo nemmeno sfiorato temi come la frustrazione di dover sottostare a una burocrazia asfissiante anche per richiedere semplice materiale di cancelleria.

Così, mentre noi ci poniamo orgogliosamente come fanalino di coda dell'Occidente, la Cina – come si legge nel nostro rapporto sullo stato della scienza, a p. 28 – ha deciso di investire 1200 miliardi di dollari in ricerca e sviluppo tecnologico tra il 2016 e il 2020, di cui 373 destinati alle fonti energetiche rinnovabili. Per la fine del decennio arriverà a superare la spesa in R&S degli Stati Uniti, avendo già oggi sopravanzato quella dell'Unione Europea.

Saturated/iStock

Tra pochi mesi ci saranno le elezioni politiche, ma non si vede all'orizzonte un'ombra di discussione politica seria e circostanziata su come arginare l'emorragia dei finanziamenti alla ricerca determinata dalla riforma Gelmini prima e da politiche miopi poi, un'emorragia che rischia di farci lasciare in eredità alle prossime generazioni un paese in via di sottosviluppo. Perché per restituire ossigeno e competitività al sistema produttivo bisognerebbe tornare a investire in modo massiccio in ricerca scientifica e tecnologica.

La notte sarà ancora lunga. E per niente tenera.

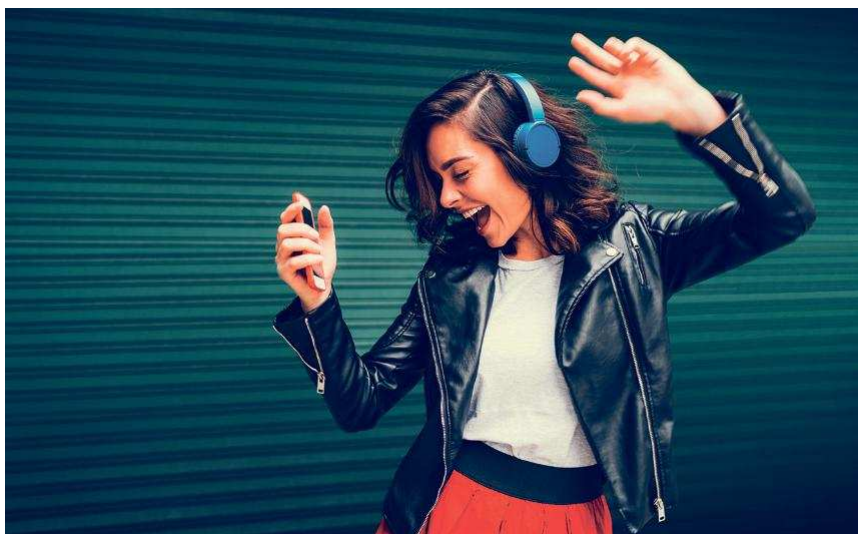
La colonna sonora dell'umanità

Con il numero di gennaio a richiesta *Il mondo in sei canzoni*, di Daniel J. Levitin

Può essere il motivetto che ci entra in testa la mattina quando ascoltiamo la radio, oppure la canzone del momento che cantiamo senza stancarci mai, o ancora il brano che ci ricorda un momento importante della nostra vita, magari alla fine di una giornata faticosa. La musica è ovunque, permea la nostra esistenza senza soluzione di continuità e fin dalla notte dei tempi. Lo sanno bene i musicologi, i cui studi sottolineano che non c'è una sola cultura umana, contemporanea o primordiale, che sia priva di musica. Eppure, questa conoscenza non ha portato all'analisi approfondita dell'interazione tra musica e società umane. Uno sforzo in questa direzione è quello di Daniel J. Levitin, che in *Il mondo in sei canzoni*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di gennaio, offre uno sguardo approfondito su cervello musicale e natura umana.

Levitin è doppiamente del mestiere. Può vantare di aver fatto e studiato musica per la maggior parte della sua vita, poiché per molti anni si è occupato della produzione di pop e rock; ed è anche un neuroscienziato, direttore di un laboratorio alla McGill University di Montreal, in Canada, dove con i suoi colleghi studia musica, evoluzione e cervello. La tesi di Levitin è che le canzoni siano molto più di uno svago (con il termine «canzone» l'autore fa riferimento a una vasta categoria, che include qualsiasi cosa possa essere cantata, o qualsiasi successione di suoni somigli a qualcosa del genere, non necessariamente accompagnata da un testo); la musica è un elemento fondante della nostra identità di specie, e grazie a essa possiamo trasmettere informazioni di qualunque tipo nello spazio e nel tempo.

In effetti, argomenta Levitin, è proprio grazie alle canzoni che abbiamo sviluppato comportamenti più complessi che necessitano di una cooperazione su larga scala e la trasmissione di informazioni più o meno rilevanti da una generazione all'altra, anticipando addirittura l'emergere del linguaggio, altro tratto distintivo della specie umana. Questo sviluppo di comportamenti complessi avrebbe a sua volta influito sullo sviluppo del nostro cervello e delle società umane, in un processo di coevoluzione che Levitin tenta di ricostruire.

Per ripercorrere a ritroso questo albero di temi musicali che hanno modellato la vita dei nostri antenati, l'autore parte da sei argomenti: amicizia, gioia, conforto, conoscenza, religione e amore; ciascuno di essi ha la propria motivazione evolutiva nel favorire la creazione di legami sociali che via via avrebbero portato alla formazione di gruppi e infine di società. A ognuno di questi sei argomenti è dedicato un capitolo ricco non solo di argomentazioni scientifiche, ma anche di aneddoti e testimonianze di musicisti famosi che Levitin ha avuto occasione di incontrare nelle sue due vite professionali.

martin-dm/iStock

Il messaggio è chiaro. Che vi piaccia il punk, la musica classica, l'elettronica o il jazz (o altro ancora), se pensate che siano solo canzonette, siete fuori strada. Sono la colonna sonora della nostra civiltà.

FABIO MELICIANI

COSA BOLLE IN PENTOLA

LA SCIENZA IN TAVOLA

pp. 244 | euro 19,00

SE AMATE SPORCARVI DI FARINA, SE APPARTENETE ALLA NUOVA TRIBÙ DEI FOODIES, O SE VI PIACE SEMPLICEMENTE CUCINARE E MANGIAR BENE, QUESTO È IL LIBRO PER VOI: BOCCONI DI SCIENZA PER PALATI CURIOSI.

«LA CUCINA È DI PER SÉ SCIENZA. STA AL CUOCO FARLA DIVENTARE ARTE».

GUALTIERO MARCHESI

Libro illustrato a colori

TOBIE NATHAN

I SEGRETI DEI VOSTRI SOGNI

pp. 288 | euro 35,00

«SONO I SOGNI LA MATERIA PRIMA DI QUESTO LIBRO. SOGNI CHE POSSONO FARCI DA GUIDA E REGALARCI PREZIOSE INDICAZIONI E CONSIGLI. [...] IL SOGNO È UNA POSSIBILITÀ, UN DONO CHE LA NATURA CI OFFRE. RICORDARE I PROPRI SOGNI È UNA BENEDIZIONE».

TOBIE NATHAN

Libro illustrato a colori

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codice_codice
instagram.com/codice_codice

info@codiceedizioni.it | codiceedizioni.it

codice
EDIZIONI

di Silvia Bencivelli

Una miniera di geni indiani

Le banche dati genetiche rappresentano soprattutto europei e statunitensi, per questo l'indiano Sumit Jamuar vuole sequenziare il DNA dei connazionali

Sulla Terra, un essere umano su cinque è indiano. Ma nelle banche dati genetiche, è indiano solo un DNA su 500. Anche Sumit Jamuar è indiano: co-fondatore e amministratore delegato di Global Gene Corporation, ha deciso di porre rimedio a questa clamorosa diseguaglianza e di cominciare a sequenziare il DNA dei propri connazionali. E non si fermerà lì. C'è una parte di umanità poco considerata, tagliata fuori dai vantaggi della ricerca medica avanzata, sostiene Jamuar. Se questo non sembra abbastanza ingiusto, prosegue, è bene sapere che la democratizzazione della genomica dà grandi vantaggi anche alla parte ricca dell'umanità. Abbiamo incontrato Jamuar al Web Summit di Lisbona e ci siamo fatti spiegare il perché.

Sumit Jamuar partiamo dalla situazione indiana: che cosa significa non essere rappresentati nelle banche dati genetiche?

Possiamo dire che cosa significa essere rappresentati! Significa essere parte di quella fetta di umanità su cui si sta disegnando la medicina di precisione, cioè su cui sta nascendo la medicina del futuro, che dall'attuale modello *one size fits all*, impreciso e approssimativo, avrà più informazioni sulla predisposizione alle malattie, su come prevenirle, su come scegliere i trattamenti migliori paziente per paziente.

Sono queste le grandissimi potenzialità che offre oggi la genomica: in particolare si parla di malattie croniche, che sono quelle su cui attualmente, contenute le malattie infettive, si sta investendo sempre di più. Le informazioni raccolte su una parte limitata di umanità potrebbero non funzionare per tutti. In più abbiamo già cominciato a notare che avere un puzzle incompleto è svantaggioso sia per chi è escluso dalle banche dati sia per chi vi è dentro.

Che cosa intende dire?

Ve lo spiego con un esempio. Nel raccogliere i primi dati abbiamo considerato una coorte di indiani sani e ne abbiamo studiato il DNA. Bene, è venuto fuori che il 96 per cento aveva una mutazione che, nella letteratura medica, è considerata tra le cause dell'epilessia. Ma nessuno di loro aveva mai avuto una crisi epilettica! Che cosa significa? Che probabilmente non ci abbiamo capito niente. Che studiare parti omogenee di umanità, e avere banche dati in cui l'80 per cento del DNA è di provenienza caucasica, può portare a errori. Questi sono dati preliminari, tuttavia ci stanno mostrando chiaramente che, anche con le tecniche migliori del mondo, se non hai i dati giusti ti puoi ritrovare coi risultati sbagliati.

Per questo lei sostiene che è arrivato il momento di rimediare.

I numeri sono questi. Il DNA del 60 per cento dell'umanità rap-

CHI È

Sumit S. Jamuar è presidente e amministratore delegato di Global Gene Corporation (GGC), considerata tra le Next Big Thing dal Cambridge Network. **Prima di assumere** gli incarichi alla GGC, Jamuar è stato amministratore delegato di SBICAP (UK), la sussidiaria europea della banca d'investimento affiliata alla State Bank of India, direttore generale di Lloyds Banking Group e consulente per McKinsey & Company. **È stato co-presidente** dell'iniziativa per l'inclusione finanziaria e il miglioramento della consapevolezza e della protezione dei consumatori promossa dall'agenzia specializzata delle Nazioni Unite per le telecomunicazioni (ITU) in collaborazione con la Bill & Melinda Gates Foundation. Si è laureato in ingegneria chimica all'Indian Institute of Technology di Delhi e ha un MBA dell'INSEAD di Fontainebleau.

Poras Chaudhary/Getty Images (*mercato*); cortesia Jamuar (*Jamuar*)

presenta il cinque per cento di quello custodito nelle banche dati del DNA: è il DNA di africani, indiani, altri asiatici, sudamericani. Ma solo quattro o cinque anni fa rappresentava a malapena l'uno per cento, segno che le cose possono cambiare. Noi abbiamo cominciato in India quattro anni fa: non possiamo ancora rendere pubblici i nostri risultati, ma si consideri che più o meno abbiamo già raccolto 10.000 genomi insieme ai relativi dati clinici e consensi informati, e lo abbiamo fatto grazie a importanti collaborazioni con ospedali ed enti di ricerca. Dopo l'India andremo in Sud America, Africa e così via. È il momento giusto per farlo.

Perché?

Perché oggi la genetica ha abbattuto i costi: sequenziare il primo genoma è costato circa 2,7 miliardi di dollari. Oggi bastano quattro ore e 1000 dollari, e via via che le tecnologie avanzano le cose si fanno più semplici ed economiche: presto il prezzo sarà intorno ai 100 dollari a persona. Non solo: avanzano le nostre conoscenze nell'ambito dell'intelligenza artificiale, quindi miglioriamo i nostri strumenti informatici e sappiamo sempre meglio come usare i dati.

CNRI/SPL/AGF (*corredo cromosomico*)

Oro per la genomica. Accanto, l'assetto cromosomico, ovvero il cariotipo, di un essere umano di sesso maschile. Sotto, un mercato della città vecchia di Delhi, in India. Con circa 1,3 miliardi di persone, questo paese asiatico è una potenziale miniera per la genomica umana.

Il momento è giusto anche per investire, dunque. Global Gene Corporation è nata nel 2013, ha sede a Singapore e ha il centro di ricerca e sviluppo a Cambridge, in Regno Unito, nel Wellcome Trust Sanger Institute. Perché non in India?

Abbiamo anche una sede in India, a Mumbai: io sono indiano, ho studiato in India e ho investito nel mio paese. Abbiamo anche una sede negli Stati Uniti, a Boston. Tuttavia la nostra è un'azienda e per costruire un'azienda che funzioni c'è bisogno delle professionalità migliori. E il Sanger Institute è uno dei luoghi chiave della ricerca genetica al mondo. Inoltre a Cambridge ho modo di lavorare con professionalità altissime di diversi settori. È una delle cose più belle della genomica, che mette insieme fisici, biologi, informatici e medici.

Lei però non è né genetista né niente di quello che ha nominato: laureato in ingegneria chimica, ha sempre lavorato nella finanza. Perché si è buttato in questa impresa?

Perché sono rimasto affascinato dalle potenzialità della genomica, e mi entusiasma l'idea di che cosa si può fare con questi dati, del salto che potrà fare l'assistenza medica e la prevenzione, la sanità in generale, e anche del fatto che oggi circa il 40 per cento dei farmaci che somministriamo è inefficace; un giorno tuttavia saremo capaci di usarli con precisione. Tra dieci o vent'anni avremo il DNA di tutti i neonati e tutti saranno sequenziati. Nel frattempo dobbiamo costruire banche dati che ci dicano, per esempio, quanto è probabile che un farmaco funzioni o meno.

Prendiamo il tumore al polmone non a piccole cellule: se è presente una mutazione del gene *EGFR*, la chemioterapia funziona circa tre volte su quattro. Se quella mutazione non è presente, funziona solo nel cinque per cento dei casi. Bene, si è scoperto che nelle popolazioni asiatiche la mutazione è più frequente rispetto agli europei, quindi le terapie funzionano meglio. Osservazioni come questa possono aiutare a indirizzare meglio gli investimenti farmaceutici e la ricerca.

Che cosa fate con i dati raccolti? Cioè, l'obiettivo generale è democratizzare la genomica, va bene. Ma in pratica perché un indiano dovrebbe regalarvi il DNA?

Considerate che esistono altre iniziative per la raccolta dei dati genetici nelle parti del mondo finora escluse, ovvero tutte tranne Europa, Stati Uniti e Giappone, ma soprattutto l'Africa. Noi di Global Gene Corporation siamo consapevoli di essere parte di un ecosistema complesso, insomma. Quindi facciamo parte di una coalizione internazionale chiamata Global Alliance for Genomics and Health (GA4GH), che ha più di 500 partner al mondo e che sta lavorando proprio alla ricerca di standard scientifici, ma anche legali ed etici, per usare nel modo migliore i dati genetici dell'umanità. Questo a garanzia di tutti.

di Letizia Gabaglio

Gli spazzini dello spazio

D-Orbit è impegnata nello sviluppo di sistemi di decommissioning di satelliti in orbita attorno alla Terra al termine della loro vita operativa

Fra questo mese e gennaio 2018, la stazione spaziale cinese Tiangong-1 si frantumerà a contatto con l'atmosfera terrestre: alcune sue parti potrebbero sopravvivere, generando una nuvola di detriti che potrebbe cadere in punti imprecisati del globo. «Oltre al rischio di impatto al suolo, i detriti spaziali mettono a rischio le attività di satelliti attivi a causa delle potenziali collisioni in orbita, al punto che gli operatori devono spesso modificare la traiettoria dei loro satelliti per evitare detriti. Queste manovre sono dispendiose», spiega Renato Panesi, *chief commercial officer* di D-Orbit, azienda italiana che si sta facendo largo nel settore del *decommissioning*, la dismissione, così si chiama lo speciale tipo di smaltimento dei veicoli spaziali.

Oggi ci sono circa 1500 satelliti artificiali attorno al nostro pianeta, le cui masse variano da pochi chilogrammi a decine di tonnellate, ma nel giro di qualche anno questa popolazione crescerà in maniera esponenziale. Ognuno di questi satelliti rimane operativo per un periodo compreso tra pochi mesi e vent'anni. Se il satellite si trova in orbita media o alta, viene invece spostato nella cosiddetta «orbita cimitero». Se si trova in un'orbita bassa, al termine della sua missione il satellite viene spostato in un'orbita ancora più bassa, che lo porterà a rientrare in atmosfera in un periodo di 25 anni. «Al momento del rientro, i satelliti bruciano a contatto con l'atmosfera. Quelli più grandi e massicci non bruciano del tutto, e una certa quantità di detriti sopravvive al rientro e cade al suolo», spiega ancora Panesi.

Giocare con le grandi squadre

I due fondatori della *start-up* sono partiti proprio da queste valutazioni relative al problema dei detriti spaziali quando, entrambi freschi di una laurea e un dottorato in ingegneria aerospaziale, si ritrovano nella Silicon Valley grazie a una borsa di studio Fulbright. «Eravamo lì con l'obiettivo di trasformare il nostro progetto di ricerca in un *business*, così abbiamo fatto domanda e siamo stati selezionati per un corso di Technology Entrepreneurship, che doveva includere uno *stage* presso un'azienda. Nel nostro caso, il periodo di tirocinio è stato trascorso non presso un'impresa, ma all'Ames Research Center della NASA», ricorda Panesi.

Ecco, nel 2009 Panesi e Luca Rossettini, l'altro socio che oggi è il CEO dell'azienda, hanno voluto partecipare a un campionato in cui in quegli anni giocavano solo le grandi squadre: il settore aerospaziale è stato per decenni la patria delle grandi collaborazioni internazionali e delle multinazionali. «Si trattava di una grande sfida e una volta tornati in Italia, forti del nostro *business plan*, abbiamo cercato fondi di *venture capital* che fossero interessati alla nostra idea», racconta ancora l'ingegnere.

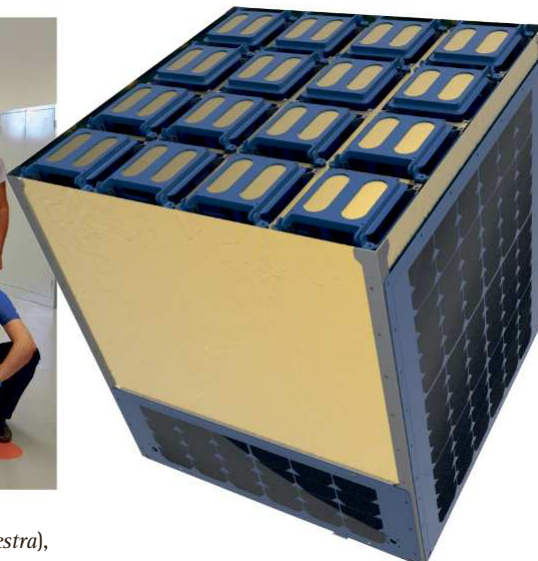
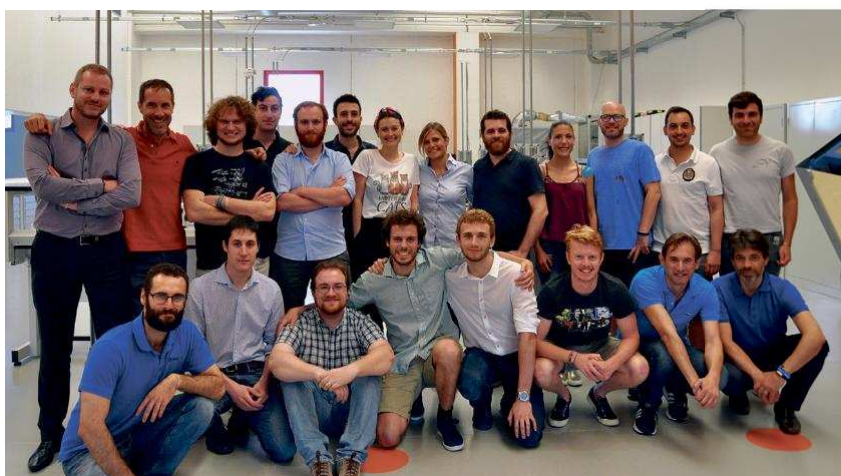
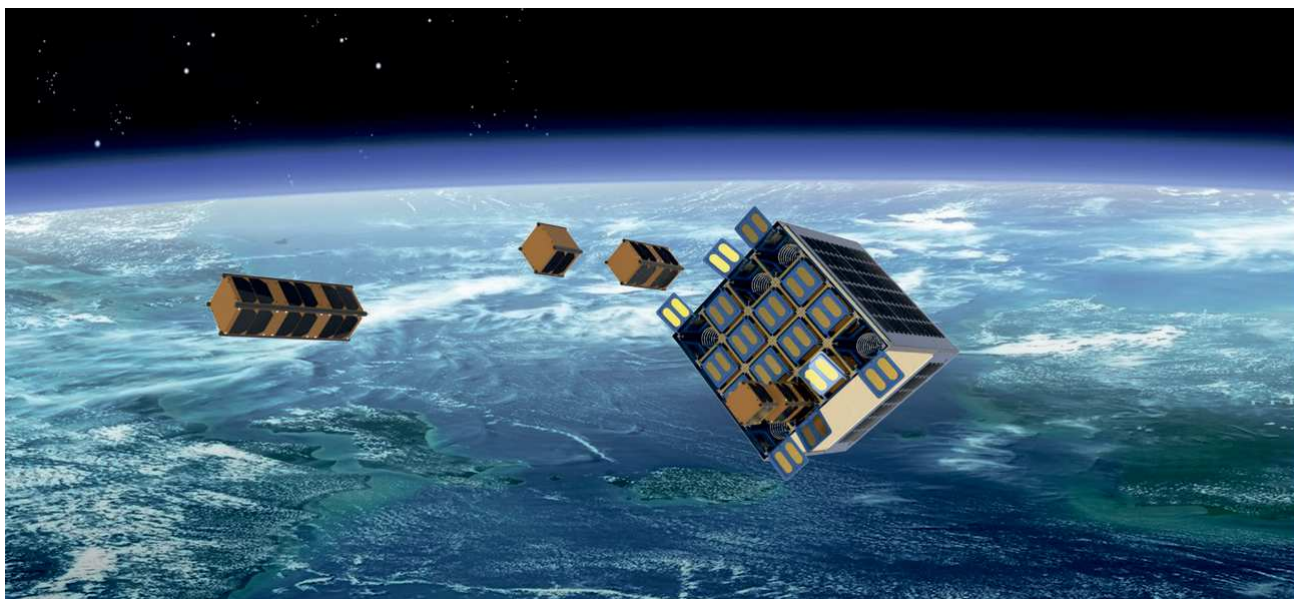
Il loro progetto iniziale si chiama D3 (D-Orbit Decommissioning Device), un dispositivo che, una volta installato in un satellite, permette di causarne il rientro a fine vita secondo traiettorie predefinite e in modo attivo e controllato. Un'idea che convince gli investitori e nel 2011 comincia l'avventura di D-Orbit. All'inizio con una postazione nell'incubatore dell'Università di Firenze, poi allargandosi via via fino ad arrivare all'attuale sede di 2500 metri quadrati a Fino Mornasco, vicino a Como. A cui si aggiungono una succursale in Portogallo e una sede commerciale negli Stati Uniti. Un'espansione che è andata di pari passo con il crescere dei finanziamenti – circa cinque milioni di euro in round successivi – e l'accrescersi della squadra, che oggi conta 32 persone.

Che cosa ha decretato tanto successo? L'aerospazio è un settore dominato da grandi nomi, quando la start-up italiana si è proposta di risolvere un problema così complesso come il decomissioning di satelliti, l'accoglienza è stata piuttosto incredula. «Così, grazie a un finanziamento nell'ambito del programma Horizon 2020 dell'Unione Europea, abbiamo finanziato lo sviluppo del D3 e costruito un satellite per dimostrarne la validità nello spazio. A giugno 2017 l'abbiamo lanciato», sottolinea l'ingegnere. Ma la di-

LA SCHEDA

D-Orbit

Fatturato n.d	**Investimenti in ricerca** n.d
Dipendenti/collaboratori 32	**Brevetti rilasciati** 16

Cortesia D-Orbit (*tutte le foto*)

Come un cargo. Nelle illustrazioni, il funzionamento di InOrbit NOW (*qui sopra a destra*), il servizio di lancio e dispersione di CubeSat di D-Orbit; nella, foto il team dell'azienda.

mostrazione pratica del funzionamento di D3 ha aperto in realtà un'altra porta a D-Orbit: la costruzione, l'assemblaggio e il lancio di piccoli satelliti, i CubeSat.

«Si tratta di satelliti costituiti da moduli cubici di dieci centimetri di lato e di 1,5 chilogrammi di massa. Ognuno di questi cubi contiene uno o più sottosistemi del satellite, e il risultato finale è un veicolo compatto e leggero», va avanti Panesi. «Ormai sono moltissime le aziende di servizi, come telecomunicazioni, rilevazioni meteo, osservazione della Terra, che usano questi piccoli satelliti. Ma per i lanciatori rimangono un carico secondario», spiega l'ingegnere.

Nave per piccoli satelliti

In altre parole, per lanciare mezzi spaziali di piccole dimensioni bisogna accodarsi a qualche grande lancio perché così si ammortizzano i costi, ma riducendo le opzioni di rilascio in orbita. E può capitare che il lancio avvenga in una posizione orbitale lontana da quella operativa, e che quindi il satellite spenda tempo a raggiungere la giusta posizione da cui iniziare a lavorare. Ecco allora l'idea dei giovani di D-Orbit: costruire il *carrier* ION, una piattaforma proprietaria che trasporta i CubeSat come se fosse una nave. Si lancia come se fosse un solo veicolo poi, una volta nello spazio, rilascia i satelliti in maniera intelligente, ognuno nella sua posizione orbitale.

«Così possono iniziare a lavorare subito, guadagnando in alcuni casi anche un quarto di vita», sottolinea Panesi. «Si tratta infatti di satelliti di breve vita operativa, in media due anni». Per gli stessi satelliti, D-Orbit ha un'ulteriore soluzione: «Fenix, un dispositivo propulsivo per CubeSat che permette di innalzare l'orbita al termine del loro ciclo di vita teorico, mettendoli in grado di operare più a lungo. Di fatto possono rimanere operativi anche il 60 per cento del tempo in più», dice l'ingegnere.

Insomma, grazie al fiuto per gli affari, a D-Orbit prendono commesse dalle molte aziende che vogliono lanciare piccoli satelliti e nel frattempo continuano a lavorare all'idea di partenza: evitare di lasciare cadaveri di satelliti in giro per lo spazio.

di Telmo Pievani
è professore ordinario di filosofia delle scienze biologiche dell'Università degli Studi di Padova

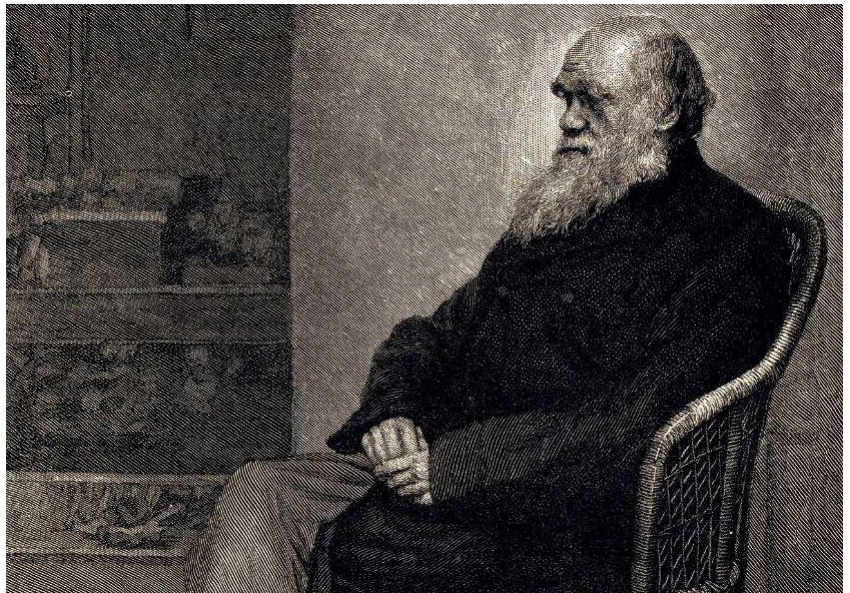
Darwin infangato

Un libro appena uscito denota un'incomprensione totale delle idee darwiniane

Sconsiglio per strenna natalizia. Andrew N. Wilson, scrittore ed editorialista inglese di 67 anni, finora si è dilettato con discreto successo di storia inglese e di letteratura medievale. Compone opere di fantasia, ma di tanto in tanto va in biblioteca e partorisce libri di storia sull'età elisabettiana o sui vittoriani. Riscuotono qualche attenzione le sue biografie spumeggianti di personaggi famosi. Non si è mai occupato di scienza, figuriamoci se ha mai studiato un bigino di biologia evoluzionistica, e dunque su chi si è sentito in dovere di scrivere il suo ultimo libro? Ovviamente su Charles Darwin, che ne esce assai malridotto come un «*Victorian mythmaker*».

Un labile legame familiare connette Wilson al barbuto naturalista di Down House: il padre di Wilson era infatti dirigente di Wedgwood, la celebre azienda di ceramiche fondata nel Settecento da Josiah Wedgwood, amico del nonno di Darwin, Erasmus, e patriarca di una famiglia che diede i natali alla madre e alla moglie di Charles Darwin. Evidentemente questa connessione priva di qualsivoglia merito legittima il nostro autore a occuparsi di evoluzione. Dopo aver dedicato un'agiografia proprio a Josiah Wedgwood, eroe della rivoluzione industriale inglese, e una breve biografia ad Adolf Hitler (il nostro ha interessi versatili), è venuto il turno di Darwin, che nel XX secolo sta diventando un cattivo perfetto per scrittori in cerca di colpi di scena. L'anno scorso si era accanito contro di lui niente meno che l'autore *dandy* di *Il falò delle vanità* (in Italia edito da Mondadori), Tom Wolfe, in un divertente *pamphlet* ignaro della realtà e della storia.

A.N. Wilson (nessuna parentela nota con il grande evoluzionista E.O. Wilson, solo ironia dei cognomi) non è da meno. La sua *fiction* ideologica spacciata per saggio storico favoleggia che Darwin fosse un razzista fiancheggiatore dello schiavismo (per una ricostruzione di come le battaglie antischiaviste abbiano dominato la vita di Darwin basti leggere il documentatissimo *La sacra causa di Darwin* degli storici Adrian Desmond e James Moore, pubblicato da Raffaello Cortina), un egotista ambizioso, un ladro di idee (a cominciare da quelle del nonno Erasmus), un cacciaballe, un precursore del nazismo, un assassino di gatti. Non disponendo del senso del ridicolo, Wilson ritiene che quest'uomo orrendo probabilmente emanasse anche un cattivo odore a causa dei suoi malanni.

Fin qui, siamo nella categoria delle bufale storiografiche tanto amate dal Web: nemmeno sbagliate, semplicemente inesistenti. Ma c'è dell'altro. Wilson non si limita a denigrare l'uomo (il che non toglierebbe comunque valore sperimentale alle sue scoperte scientifiche), ma contesta nel merito la teoria evoluzionistica, a suo dire viziata dal tentativo di dipingere la natura e la società umana come una lotta individualistica di tutti contro tutti, giustificando così l'oppressione delle classi più deboli. Ignorando bellamente i fiumi di inchiostro versati da Darwin su mutualismo, cooperazione, relazioni ecologiche e nobili facoltà umane, Wilson rivanga per l'ennesima volta l'argomento secondo cui il peggio del Novecento, dai totalitarismi all'eugenetica razzista, sarebbe colpa di Darwin. Per queste (comunque infondate) ragioni politiche dovremmo abbandonare, non si sa perché, anche la sua teoria scientifica oggi corroborata da prove di ogni tipo.

Anti-individualista. Charles Darwin versò fiumi di inchiostro su mutualismo, cooperazione, relazioni ecologiche e nobili facoltà umane.

Va da sé che il modo in cui l'autore presenta le idee darwiniane denota un'incomprensione totale: confonde Darwin e Lamarck; sbaglia le date; non ha capito come funziona la selezione naturale; scopiazza malamente vecchi errori dei creazionisti. Al termine di questo sfoggio di anticonformismo malriposto, vien da chiedersi: ma perché quando certi scrittori (e filosofi) decidono di applicarsi alle *fake news* pseudoscientifiche, in cima ai loro pensieri c'è sempre Charles Darwin? E perché gli editori illustri li pubblicano? (per la legge del contrappasso, il libro è pubblicato dalla casa editrice John Murray, la stessa di Darwin!).

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Le molecole dei rapporti sociali

Uno sguardo alla complicata relazione degli ormoni nei processi di socializzazione

Un piccolissimo ormone di natura peptidica riesce a fare tante cose diverse nel nostro corpo, soprattutto, ma non esclusivamente, femminile. Si chiama ossitocina, è composto di solo nove amminoacidi ed è presente in moltissime specie animali da almeno 500 milioni di anni. La parola ossitocina è nata da un errore commesso da qualcuno qualche decennio fa. Il termine originale era ocitocina, sostanza cioè che accelera il parto, perché questa è una delle sue caratteristiche principali e la prima a essere stata individuata. Qualcuno che sapeva poco il greco antico fece il pasticcio e il nome è rimasto quello di oggi, abbreviato spesso in OXY. Mi piace ricordare che questa osservazione era contenuta in *Il codice genetico* di Isaac Asimov, il bel libretto la cui lettura mi spinse a passare negli anni sessanta dalla fisica alla biologia.

Oggi sappiamo che l'ossitocina fa tante cose nel corpo, tutte piuttosto positive. Agendo per esempio sul cervello delle madri ne determina l'attaccamento alla prole, al punto che un'infusione di ossitocina nel cervello di una pecora femmina la fa attaccare al primo agnello che incontra, anche se non è il suo. Inoltre, il piccolo ormone è attivo nella preparazione al parto, nel travaglio del parto stesso e durante l'allattamento. Pare quindi associato alla maternità nelle sue diverse articolazioni e non stupisce dunque che possa essere implicato nell'instaurarsi dell'attaccamento alla prole.

Fidarsi è meglio. L'attività cerebrale dell'ormone ossitocina è implicata nell'inclinazione alla fiducia verso gli altri.

vernonwiley/iStock

L'azione dell'ossitocina confluisce nel principale circuito cerebrale che controlla bisogni e soddisfazioni, creando una certa dipendenza, vale a dire quello fondamentale della dopamina. La sua presenza indurrà un pressante desiderio, anche sessuale, da cui non è facile deflettere e che si ripresenterà in continuazione. Si osserva d'altro canto che nei momenti più intensi di un rapporto sessuale c'è in una donna un notevole rilascio di ossitocina, che potrebbe contribuire a rafforzare il legame fra i due partner. Particolarmente interessante è infine il fatto che l'ossitocina è implicata anche nell'inclinazione a fidarsi. Un'inalazione di questo ormone induce un soggetto ad avere molta maggior fiducia nei propri simili. Per tutti questi motivi è chiamato variamente l'ormone «dell'amore», oppure «della felicità» o anche «della fiducia», nei notiziari scientifici semiromanzati delle riviste patinate.

In effetti di cose diverse l'ossitocina ne fa tante nel viaggio dalla base del cervello alla sua regione centrale o anche frontale. Viene prodotta nel nucleo paraventricolare (PVC) dell'ipotalamo e viaggia in avanti verso regioni piene di recettori che sono implicate anche nell'azione della dopamina, come l'aria ventrale del tegmento (VTA) e il cosiddetto nucleo accumbens (NAcc) nel sistema mesolimbocorticale. Alcune molecole proseguono e vanno direttamente nella corteccia prefrontale, la sede delle associazioni mentali e dei progetti.

Due osservazioni. Innanzitutto, gli ormoni, come ogni altra molecola neuroattiva o psicoattiva, non sono niente se non incontrano i loro recettori specifici. La loro attività può essere esplicata e modulata solo se si legano a recettori cellulari estremamente specifici. Di questi recettori ne esistono numerosissimi tipi e sottotipi e ciascuno ha la sua funzione particolare. Tutto questo rende estremamente arduo e complesso districarsi nelle diverse funzioni delle più diverse sostanze neurotrope. Per questo motivo occorre andare molto cauti nel riferirsi, anche in perfetta buona fede, all'azione delle diverse sostanze sull'atteggiamento e sul comportamento di un soggetto, anche se si tratta semplicemente di un topo di laboratorio.

Inoltre, e ancora più importante, appena si entra nel dominio della corteccia prefrontale, la cautela è più che d'obbligo, perché è lì che avvengono gli scambi più significativi fra quello che noi definiamo somatico e quello che noi definiamo psichico. Un esempio di questa grande complessità si può trovare in un recente articolo (Hung L.W. e collaboratori, in «Science», Vol. 357, pp. 1406-1411) in cui si analizza il ruolo degli ormoni nel processo di socializzazione in diverse specie di mammiferi, compreso l'uomo. Non prestate fede, quindi, alle ammiccanti semplificazioni dei mezzi di comunicazione: le cose non sono mai troppo semplici.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Le curve di Huygens

Lo scienziato olandese fu forse l'ultimo virtuoso della geometria pre-cartesiana

Christiaan Huygens è meno noto di Galileo e di Newton, benché sia stato il più grande scienziato del mezzo secolo intercorso fra l'ultima grande opera del primo, i *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638), e la prima grande opera del secondo, i *Principi matematici della filosofia naturale* (1687). Il suo lavoro in quel periodo culminò a sua volta in due grandi opere, *Systema Saturnium* (1659) e *Horologium oscillatorium sive de motu pendularium* (1673), che permisero di traghettare l'astronomia e la meccanica dalla preistoria galileiana alla storia newtoniana: in particolare, introducendo il concetto di forza, enunciando l'uguaglianza delle masse inerziale e gravitazionale, e formulando le leggi di conservazione della quantità di moto e dell'energia cinetica, definite rispettivamente come i prodotti della massa per la velocità (mv) e per il suo quadrato (mv^2).

Ma l'olandese Huygens fu anche un matematico di grande valore, e forse l'ultimo virtuoso della geometria pre-cartesiana: quella dello studio degli oggetti geometrici effettuato con i metodi geometrici degli antichi, invece che con i metodi algebrici o analitici dei moderni. Il suo primo risultato nel campo fu la refutazione di una congettura di Galileo, che nei *Discorsi* aveva identificato come una parabola la catenaria: cioè, la curva assunta da una catena omogenea appesa agli estremi per effetto della gravità. In una lettera a padre Mersenne dell'ottobre 1646, scritta quando aveva solo 17 anni, Huygens dimostrò che invece la catenaria non è una parabola, perché esiste una famiglia di sue corde parallele i cui punti medi non stanno su una retta parallela all'asse, contrariamente a ciò che succede per le parabole.

Genio precoce. Già a 17 anni Christiaan Huygens confutò una congettura di Galileo Galilei.

Rimaneva da determinare che curva fosse allora la catenaria. Il problema fu posto molti anni dopo, nel 1690, da Jakob Bernoulli, e venne risolto da tre matematici: suo fratello Johann Bernoulli, Gottfried Wilhelm von Leibniz e Huygens stesso. Ancora una volta quest'ultimo diede una soluzione geometrica, mostrando come disegnare la curva, mentre gli altri due la definirono in maniera analitica: si tratta del coseno iperbolico, che sta all'iperbole come il coseno solito sta al cerchio, e la sua equazione è $(e^x + e^{-x})/2$.

Più che alla catenaria, però, il nome di Huygens è legato alla cicloide: cioè, alla curva percorsa da un punto di una circonferenza che rotola su una retta. Nel 1659 egli si propose di determinare quale curva deve percorrere un peso attaccato a una corda per oscillare in maniera isocrona: cioè, impiegando sempre lo stesso tempo in ogni oscillazione. Galileo aveva supposto che la curva fosse un arco di cerchio, in base all'apparente isocronia del pendolo semplice, ma inseguito ci si era accorti che questa valeva soltanto per piccole oscillazioni.

La soluzione trovata da Huygens fu che un pendolo oscillava in maniera veramente isocrona se il peso percorreva non un arco di cerchio, ma di cicloide: detto altrimenti, la cicloide è una curva isocrona, lungo la quale un corpo cade sempre nello stesso tempo, indipendentemente dal punto in cui viene lasciato cadere. In seguito si scoprì, nel 1696, che la cicloide è anche una curva brachistocrona, lungo la quale un corpo cade nel minor tempo possibile: in particolare, più velocemente che lungo un arco di cerchio, come aveva di nuovo supposto Galileo, che si era comunque accorto che un piano inclinato fra i punti di partenza e di arrivo non è il percorso più veloce di caduta fra essi.

Tornando a Huygens, per costruire un pendolo isocrono egli capì che bisognava accompagnare la corda a cui è attaccato il peso mediante delle guide, in modo da fargli percorrere un arco di cicloide. Poiché il filo è sempre perpendicolare alla curva in ogni punto, la forma delle guide doveva essere l'evoluta della cicloide: cioè, la curva tangente alle varie perpendicolari tirate da ciascun punto. Huygens scoprì che l'evoluta di una cicloide non è altro che la cicloide stessa, e commentò soddisfatto il risultato con una citazione dalle *Metamorfosi* di Ovidio: *magna nec ingeniis investigata priorum*, «una grande e finora sconosciuta ingegnosità».

Uno degli ammiratori dell'ingegno matematico di Huygens fu il giovane Leibniz, che nel 1672 gli chiese a Parigi di diventare un suo studente. Essi si scambiarono decine di lettere fino alla morte di Huygens nel 1695, ma a quel tempo l'allievo aveva ormai superato il maestro. Quest'ultimo non divenne infatti mai un estimatore del nuovo calcolo infinitesimale, e continuò sino alla fine ad adottare i metodi geometrici che aveva padroneggiato fin da bambino, dei quali rimane l'ultimo grande interprete.

di Amedeo Balbi
Professore associato di astronomia e astrofisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma «Tor Vergata». Il suo ultimo libro è *Dove sono tutti quanti?* (Rizzoli, 2016)

Una nuova conferma per Hubble

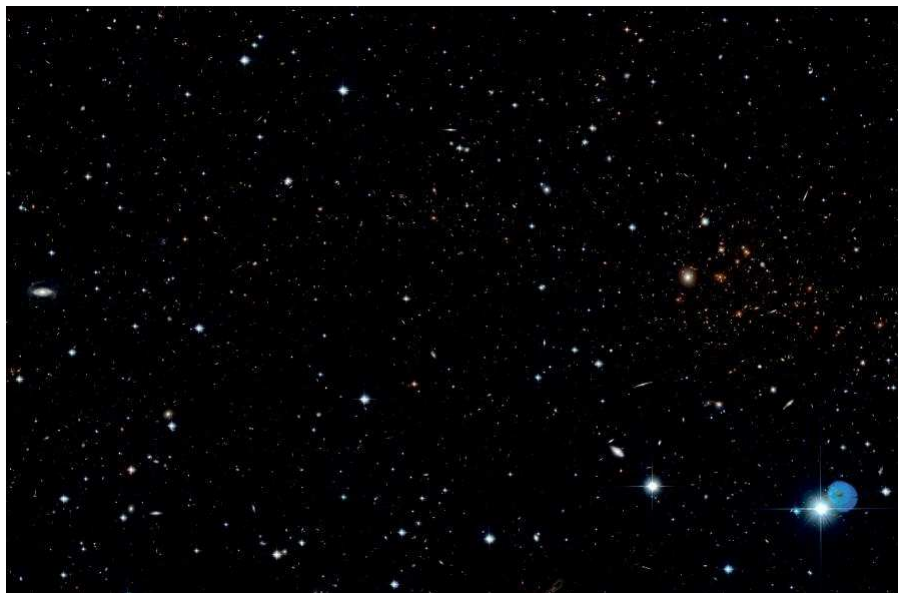
Il tasso di espansione del cosmo è stato misurato anche con le onde gravitazionali

La storia che vorrei raccontare questo mese inizia una trentina d'anni fa, il 25 settembre 1986, con la pubblicazione su «Nature» di un articolo di Bernard Schutz intitolato *Determining Hubble Constant from Gravitational Wave Observations*. Il titolo è abbastanza auto-esplicativo: l'articolo proponeva di usare l'osservazione delle onde gravitazionali per determinare la costante di Hubble, la quantità fisica che misura il tasso di espansione dell'universo, in pratica uno dei numeri fondamentali della cosmologia.

Per stimarne il valore servono due informazioni: la velocità di recessione di un certo numero di galassie lontane, e la loro distanza da noi. La prima, di solito, si misura abbastanza facilmente dallo spostamento verso il rosso delle righe spettrali delle galassie stesse (il cosiddetto *redshift*). La parte difficile è la seconda: misurare le distanze in astronomia è complicato. Tradizionalmente, si fa ricorso a quelle che sono chiamate «candele standard», ovvero oggetti di cui pensiamo di conoscere ragionevolmente bene la luminosità reale, e di cui possiamo quindi determinare la distanza da una misura della luminosità apparente. Il problema, però, è che potremmo sbagliare nell'attribuire la giusta luminosità a un certo tipo di candela standard. Non solo: per coprire le grandi distanze necessarie a misurare accuratamente la costante di Hubble bisogna usare una catena di diverse candele standard (una cosiddetta «scala di distanze»), il che porta a un rischio maggiore di commettere errori.

Qui entra in gioco l'articolo di Schutz, che proponeva un metodo alternativo: l'onda gravitazionale prodotta da due oggetti compatti che orbitano uno attorno all'altro, finendo per collidere, esibisce una variazione di frequenza (il termine tecnico inglese è *chirp*, una specie di cinguettio) che dipende dalla distanza del fenomeno da noi. Questo suggerisce di usare un evento del genere come «sirena standard». Se poi si ha anche una controparte elettromagnetica, e si riesce quindi a individuare la galassia in cui si trova la «sirena», ecco che possiamo ottenere una stima della costante di Hubble indipendente dalla tradizionale scala di distanze basata sulle candele standard.

Va sottolineato che, nel 1986, non solo non esisteva ancora una stima affidabile della costante di Hubble dall'astronomia tradizionale, ma la possibilità stessa di rivelare le onde gravitazionali era molto remota: proprio in quegli anni si muovevano i primi passi per la realizzazione degli interferometri che, decenni più tardi, avrebbero captato il primo segnale gravitazionale.

E qui arriviamo appunto al 2017, per l'esattezza al 17 agosto, quando la collaborazione LIGO/Virgo ha rivelato il «chirp» gravitazionale associato alla coalescenza di due stelle di neutroni, riuscendo a individuarne con grande precisione la direzione di provenienza. Subito dopo, diversi strumenti in tutto il mondo hanno osservato il segnale elettromagnetico dell'evento a diverse frequenze, dai raggi gamma alle onde radio.

Sempre più lontane. Anche questo ammasso di galassie, chiamato MACS J0717 e distante 5,4 miliardi di anni luce da noi, si allontana rispetto alla Terra per effetto dell'espansione del cosmo.

Cortesia NASA/ESA/Harald Ebeling, Università delle Hawaii a Manoa, Jean-Paul Kneib (LAM)

Risultato, la nascita di una nuova epoca dell'astronomia, che mette insieme luce e gravità. Ma anche una nuova misura della costante di Hubble, ottenuta applicando il metodo di Schutz e pubblicata (titolo: *A Gravitational-Wave Standard Siren Measurement of the Hubble Constant*) su «Nature» on line il 16 ottobre 2017 da una serie di collaborazioni: 70 chilometri al secondo per megaparsec (con un'incertezza di circa dieci chilometri al secondo per megaparsec). Un valore compatibile con quello che negli ultimi decenni è stato misurato con i metodi classici, basati sulla scala di distanze e sulle candele standard. Ancora una volta, la dimostrazione che anche le idee più avanti nei tempi possono, prima o poi, tornare utili per capire come funziona l'universo.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Il piccolo antenato

L'ultimo antenato comune delle scimmie antropomorfe era simile a un gibbone

Una nuova ricerca sembra dimostrare, dati alla mano, che l'ultimo antenato comune di tutte le scimmie antropomorfe viventi – piccole (i gibboni) e grandi (orangutan, gorilla e scimpanzé), compresi noi umani – fosse di taglia inferiore a quanto molti sono inclini a pensare: circa delle dimensioni di un gibbone, o anche meno. I risultati della ricerca, pubblicati di recente su «Nature Communications» da Mark Grabowsky dell'Università di Tubinga e William L. Jungers della statunitense Stony Brook University, possono essere utili per comprendere meglio, almeno a livello di ipotesi, la storia naturale dei primati che precede l'evoluzione umana in senso stretto.

Se uno ha in mente la possente figura di un gorilla maschio, magari esasperata da fantasie oniriche (o cinematografiche) alla King Kong, e idealizza un simile bestione come fosse l'archetipo dell'antenato scimmiesco, può effettivamente pensare che deriviamo da animali di grossa taglia. Più seriamente, molta letteratura non solo specialistica ha elevato gli scimpanzé, gli esseri viventi a noi più prossimi sotto il profilo genetico, al ruolo di *proxy* (o «migliore approssimazione») dell'ultimo antenato comune fra noi e loro. E gli scimpanzé non sono certo creature di piccola taglia, visto che possono anche arrivare a 70 chilogrammi di peso e 160 centimetri di statura.

D'altra parte, le dimensioni corporee non sono irrilevanti. Il recente articolo inizia proprio con una simile considerazione: «Le dimensioni del corpo di un animale influiscono direttamente sul modo di interagire con l'ambiente e nessun carattere ha una così ampia varietà di implicazioni biologiche». Purtroppo però, osservano gli autori, poco ci è noto riguardo alla taglia dell'ultimo antenato comune di noi umani e delle antropomorfe viventi. Questa lacuna è sconfortante, perché un gran numero di ipotesi paleobiologiche dipende proprio dalle stime delle dimensioni corporee dell'antenato o degli antenati.

La paleoprimatologia ci dice che le Hominoidea (termine con cui si identificano tutte le antropomorfe, viventi ed estinte) si sono ampiamente diversificate durante il Miocene, tra circa 23 e 5 milioni di anni fa. La varietà di queste antropomorfe mioceniche è tale – e anche la frammentarietà dei reperti fossili, peraltro relativamente pochi, non aiuta – che gli specialisti non sanno dire quale fra queste possa rappresentare l'ultimo antenato comune delle scimmie antropomorfe attualmente viventi e, in particolare, delle grandi antropomorfe africane e dell'essere umano.

Per avere un'idea dell'evoluzione della massa corporea in questa parte dell'albero filogenetico dei primati, gli autori del nuovo studio hanno confrontato dati riguardanti la taglia dei primati attuali con stime recentemente pubblicate per un ampio campione di primati fossili. Hanno così scoperto che l'antenato comune delle attuali Hominoidea era probabilmente piccolo, con un peso che si aggira addirittura intorno ai 12 chilogrammi, in netto contrasto con altre ipotesi.

Come dicevamo, il risultato non è irrilevante sotto il profilo ecologico; implica infatti un modello locomotorio «in sospensione» – la «brachiazione», ben documentata dalle lunghe braccia di tutti i nostri parenti più prossimi, piccoli o grandi che siano, e anche di alcuni nostri antenati diretti – che potrebbe essere stato il risultato della competizione adattativa con un numero crescente di scimmie di altro tipo: gli antenati degli attuali colobi, macachi e babbuini. Anche considerando la taglia dei nostri parenti e antenati tipo *Australopithecus* (e generi affini), concludono gli autori, sembra che ci sia stata spesso una riduzione delle dimensione corporee nel nostro ramo evolutivo, piuttosto che un progressivo aumento della taglia nel corso del tempo, contrariamente al modo in cui generalmente pensiamo alla nostra evoluzione.

Lunghe leve motorie. Un gibbone dalle mani bianche (*Hylobates lar*) si sposta tra gli alberi mediante brachiazione, sfruttando cioè le sue lunghe braccia.

4FR/iStock

AMBIENTE

L'impatto del cibo

Calcolata l'impronta ecologica della dieta dello statunitense medio

Con effetto serra. Oltre a problemi di salute come obesità e diabete, una dieta eccessivamente ricca di carne, grassi e zuccheri causa ricadute ambientali negative non indifferenti, tra cui una quota importante delle emissioni di anidride carbonica, un gas serra.

Juanmonino/Getty Images

Una misura dell'impatto umano sull'ambiente è la famosa *footprint*, la cosiddetta impronta ecologica. In questa grandezza sono considerate molte azioni umane che hanno un impatto sull'ambiente, come le emissioni di gas responsabili dell'effetto serra, tra cui l'anidride carbonica, l'uso del terreno e così via

In Occidente oggi sempre più spesso si sente parlare degli impatti specifici della nostra dieta sulle risorse naturali e sui cambiamenti climatici. Si pensi per esempio al fatto che, se per la produzione di una tonnellata di grano si consuma un certo quantitativo di acqua, per ottenere lo stesso peso di carne bovina se ne consuma una quantità enormemente superiore. Oppure si può calcolare l'anidride carbonica emessa per queste stesse produzioni, e anche in questo caso si nota una grande differenza. Ebbene, di recente Catherine Birney, dell'Università del Texas ad Austin, e collaboratori, hanno cercato di quantificare gli impatti della dieta alimentare degli statunitensi e del relativo spreco alimentare sull'ambiente, calcolandone la foodprint. Il valore ottenuto è stato poi confrontato con quello che si avrebbe se la stessa popolazione seguisse le linee guida del governo per un'alimentazione sana, nonché quelle per ridurre gli sprechi alimentari. I risultati sono stati pubblicati sulla rivista «Environmental Research Letters».

Gli autori dell'articolo hanno attentamente valutato la dieta dello statunitense medio adulto. Vista la distribuzione dei cibi mangiati (soprattutto un consumo eccessivo di carne, grassi e zuccheri), appurato che questa dieta eccede di almeno 200 calorie al giorno quella consigliata per un'alimentazione sana, e considerato che il cibo buttato sfiora quasi il 40 per cento di quello prodotto, i ricercatori hanno calcolato l'impatto sull'ambiente di questa dieta eccessiva e dei relativi sprechi alimentari.

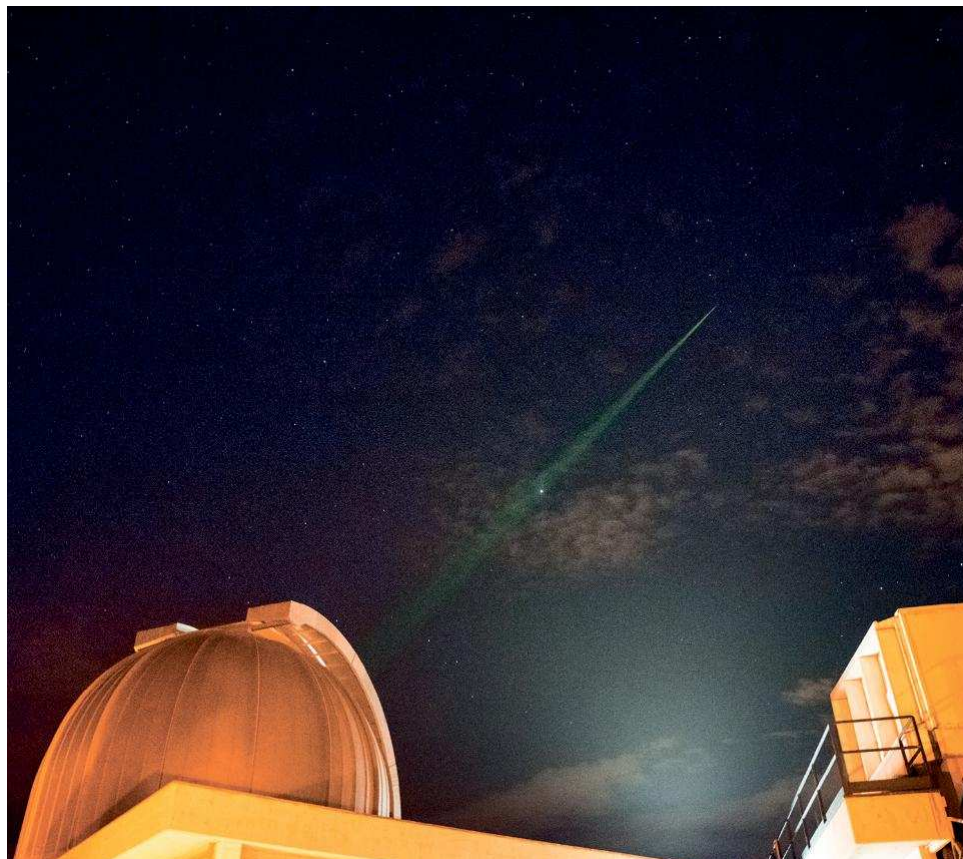
In particolare, Birney e colleghi si sono resi contro che, seguendo la dieta consigliata e le linee guida anti-sprechi, si sarebbe ridotto in maniera consistente l'uso eccessivo di acqua e si sarebbe evitato l'11 per cento di emissioni di anidride carbonica proveniente dalla produzione di cibo, si sarebbe ottenuta una diminuzione del 20 per cento di anidride carbonica emessa dalle discariche di rifiuti e sarebbe stato necessario meno terreno per le coltivazioni: si ricordi che per la produzione di carne occorre coltivare molto terreno per produrre mangimi per gli animali da allevamento.

In sostanza, una dieta più sana non solo fa bene alla nostra salute (dobbiamo tenere presenti i gravi problemi di obesità, diabete e cardiopatie nei paesi occidentali e specialmente negli Stati Uniti), ma anche all'ambiente. Inoltre, una dieta più sana contribuisce, tra l'altro, a una mitigazione del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici a esso collegati.

Antonello Pasini

FISICA

Un dualismo spaziale

La doppia natura del fotone è stata confermata da un esperimento tra la Terra e lo spazio

Il fotone è sia un'onda sia una particella. A confermare la natura duale del quanto di luce è stato un esperimento tutto italiano, a cui hanno collaborato ricercatori dell'Università di Padova e dell'Agenzia spaziale italiana (ASI). L'aspetto più significativo è legato al fatto che questa nuova verifica è stata effettuata per la prima volta impiegando un interferometro lungo 3500 chilometri, realizzato sfruttando il collegamento fra una base a terra – il Matera Laser Ranging Observatory (MLRO) dell'ASI – e un satellite in orbita attorno al nostro pianeta.

Secondo la meccanica quantistica, tutte le particelle, e quindi anche i fotoni, si comportano come onde o come corpuscoli, a seconda delle circostanze sperimentali in cui sono osservati. Questo dualismo onda-particella dei fotoni può essere evidenziato con vari tipi di esperimenti (fra cui il più famoso è quello della doppia fenditura). L'aspetto curioso di questi esperimenti è che il fotone sembra che «conosca» l'apparato sperimentale prima di interagire con esso, e che quindi «decida» di conseguenza se comportarsi da onda o da particella. Per far emergere in maniera evidente questo paradosso, nel 1978 il fisico statunitense John Archibald Wheeler propose un esperimento mentale denominato «a scelta ritardata», in cui l'apparato sperimentale cambia configurazione dopo che il fotone ha già interagito con esso. Così facendo, si può evidenziare in quale punto del processo di misura il fotone diventa onda o particella.

Il gruppo di ricerca coordinato da Paolo Villoresi dell'Università di Padova, che ha pubblicato i risultati su «Science Advances», ha appunto messo in pratica una versione spaziale dell'esperimento mentale di Wheeler, in cui era in grado di modificare al volo la configurazione dell'interferometro. L'esito è che per il fotone non cambia niente rispetto all'apparato fisso: resta onda e particella fino a quando non lo si osserva, ovvero non interagisce con il rivelatore. Solo in quel momento «decide» se essere l'una o l'altra, a seconda della configurazione finale dell'apparato sperimentale.

Emiliano Ricci

La forma dell'elettrone

L'elettrone è sferico. O, più rigorosamente, la distribuzione della carica elettrica di questa particella ha una simmetria sferica. Ad affermarlo è il gruppo di fisici guidato da Eric Cornell, del Joint Institute for Laboratory Astrophysics (JILA), a Boulder, in Colorado, che ha pubblicato su «Physical Review Letters» i risultati di una ricerca volta a misurare il momento di dipolo elettrico di questa particella.

Il momento di dipolo elettrico è una grandezza che misura la separazione fra cariche positive e negative. Pertanto, se la distribuzione della carica interna dell'elettrone fosse asimmetrica, il valore di questa grandezza sarebbe diverso da zero. Cornell e collaboratori hanno trovato un valore sostanzialmente nullo, con una precisione mai raggiunta finora. Il risultato conferma l'esito dell'esperimento della collaborazione ACME fra Yale University e Harvard University, del 2013, ottenuto con una tecnica diversa. I due risultati sono quindi indipendenti.

Il fatto che l'elettrone non evidenzi asimmetrie ha importanti conseguenze. Una delle possibili cause dell'asimmetria cosmica fra materia e antimateria potrebbe infatti essere la forma non perfettamente sferica di questa particella. E anche le teorie supersimmetriche ipotizzano un elettrone deformato. Ma il modello standard per il momento non mostra cedimenti.

Emiliano Ricci

Cortesia Università di Padova/ASI; cortesia NASA (*gemelli Kelly, pagina a fronte, in alto*); James King-Holmes/SPL/AGF (*protesi, pagina a fronte in basso*)

GENETICA

Fuochi d'artificio nel DNA

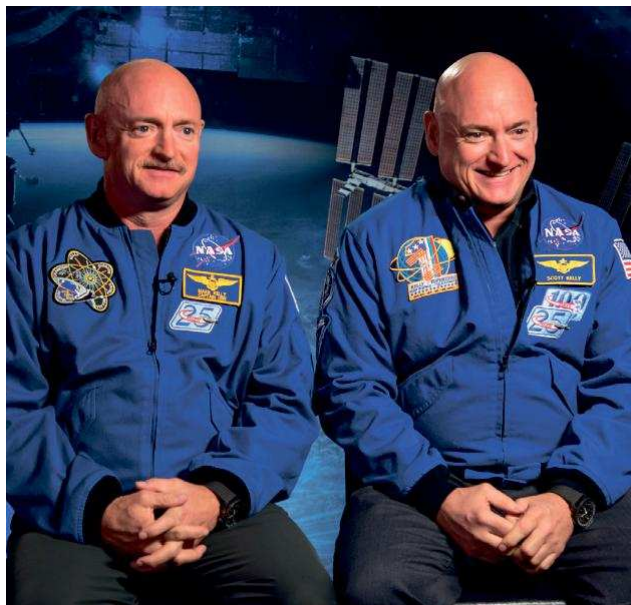
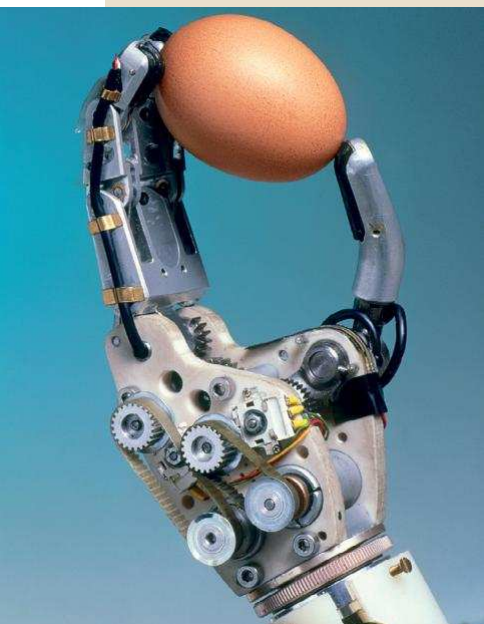
Uno studio su gemelli ha confrontato l'attività dei geni di un uomo in orbita e di uno a terra

Fra marzo 2015 e marzo 2016 l'astronauta statunitense Scott Kelly ha vissuto sulla Stazione spaziale internazionale, sottoponendosi a continui test medici e prelievi di campioni organici, e sulla Terra ha fatto lo stesso il suo gemello identico Mark Kelly. Lo scopo di questo Twin Study, cioè studio di gemelli, della NASA era verificare come una lunga permanenza in orbita modifichi l'organismo di una persona rispetto a un organismo geneticamente identico rimasto sulla Terra.

I risultati definitivi delle numerose ricerche in corso sui dati registrati arriveranno nel 2018, ma il genetista Chris Mason, della Cornell University, direttore scientifico del Twin Study, ha anticipato sul sito web NASA di aver osservato «una sorta di esplosione, un fuoco d'artificio di cambiamenti nell'espressione del DNA di Scott Kelly, rispetto a quello del fratello. Il cambiamento ha riguardato l'attivazione o disattivazione di migliaia di geni, cominciata dal momento in cui l'astronauta è arrivato nello spazio e terminata dopo il suo ritorno».

Non è chiaro quale sia la causa di questo fuoco d'artificio epigenetico, dovuto cioè all'azione di piccole molecole, come i gruppi metile che fanno da interruttore ai geni, lungo le catene del DNA: se alla mancanza di gravità, alle radiazioni spaziali, allo stress o magari al cibo liofilizzato della stazione (in effetti anche la comunità microbica intestinale di Scott Kelly è molto cambiata).

«La cosa va però studiata a fondo per capire cosa implichi per l'organismo degli astronauti questo sconvolgimento nel funzionamento del DNA delle cellule, in vista delle future missioni spaziali di lunga durata», ha concluso Mason

In effetti, la lista dei problemi alla salute che provoca l'ambiente spaziale è già ampia, dalla riduzione di massa ossea e muscolare, fino ai problemi di vista. Recentemente, per esempio, sul «New England Journal of Medicine» la neuroradiologa Donna Roberts dell'Università del South Carolina ha rivelato che le risonanze fatte ad astronauti evidenziano un cambio di forma nel cervello, che potrebbe creare problemi neurologici. Ci mancava solo il fuoco d'artificio genetico.

Alex Saragosa

Così il cervello mappa un braccio artificiale

Le protesi di mano e braccio di ultima generazione non sono più appendici estetiche capaci solo di un movimento «a pinza» per afferrare oggetti. Si basano su sensori che captano sulla pelle i segnali elettromiografici, deboli correnti elettriche prodotte dall'attività muscolare, per effettuare movimenti complessi, creando così una connessione diretta tra protesi e cervello. Per migliorare questa connessione è stata messa a punto una procedura chirurgica, la TMSR, che consiste in una reinnervazione mirata dei muscoli sani del moncherino. La procedura modifica il modo con cui il cervello, e la corteccia motoria in particolare, elabora il controllo del braccio e gli stimoli sensoriali. La TMSR, insomma, migliora molto la sensibilità della protesi da parte del paziente. Come è possibile? Ha cercato di scoprirlo uno studio coordinato dal Politecnico federale di Losanna e dall'Ospedale universitario di Losanna, a cui ha partecipato anche il Centro Protesi INAIL di Budrio, vicino a Bologna. La ricerca è descritta su «Brain». Usando la risonanza magnetica funzionale gli scienziati hanno osservato come la corteccia motoria si riadatti per controllare le protesi dopo la reinnervazione chirurgica. Con sorpresa hanno notato che le nuove mappe create dalla corteccia motoria per controllare il braccio amputato sono molto simili per estensione, intensità e localizzazione a quelle del braccio sano, ma assai differenti rispetto a quelle di chi invece usa una protesi senza TMSR. Sono state perfino individuate mappe delle dita mancanti, a indicare che una corretta reinnervazione può ridare il controllo delle singole dita della protesi. Lo studio ha anche rivelato che la TMSR ha grandi margini di miglioramento, che potrebbero addirittura portare i pazienti a «sentire» le protesi come un braccio vero e non come un'estensione artificiale del corpo.

Riccardo Oldani

BIOLOGIA

Evolversi in città

L'urbanizzazione dei territori agisce come una vera e propria forza evolutiva sugli animali

L'inarrestabile inurbamento della popolazione mondiale non rappresenta solo una sfida per il futuro dell'umanità, ma agisce come una vera e propria forza evolutiva per gli animali che subiscono la trasformazione del territorio. Per quantificare la portata del fenomeno, gli ecologi Marc Johnson dell'Università di Toronto a Mississauga e Jason Munshi-South della Fordham University di New York hanno pubblicato su «Science» una revisione che riassume i risultati di 192 studi sull'adattamento di vari organismi ai contesti urbani.

L'urbanizzazione del territorio innesca drastici mutamenti ambientali, tra cui l'aumento locale della temperatura, l'impermeabilizzazione del suolo e l'illuminazione artificiale. Per esempio, alcune specie di lucertole crestate di Portorico hanno sviluppato robusti artigli per scalare le superfici lisce delle abitazioni; in un altro caso, la stretta convivenza con l'essere umano ha spinto i passeri a evolvere becchi di dimensioni maggiori per approfittare delle granaglie delle mangiatoie.

Il diffuso inquinamento industriale implica l'esposizione a concentrazioni elevate di sostanze contaminanti che aumentano i tassi di mutazione, rendendo così i pesci tolleranti all'inquinamento dei corsi d'acqua e le cimici dei letti resistenti agli insetticidi. La costruzione di strade ed edifici provoca la frammentazione degli habitat che ostacola la dispersione degli organismi: la revisione evidenzia che le città limitano il flusso genico e rafforzano la deriva genetica, caratterizzata da cambiamenti casuali nella frequenza degli alleli, accelerando la differenziazione delle popolazioni. L'introduzione di specie aliene innesca infine forme di competizione con quelle autoctone, riducendone l'abbondanza e la biodiversità.

Secondo gli autori, l'espansione delle metropoli disegna dei veri e propri ecosistemi nuovi, a cui piante e animali devono inevitabilmente adattarsi per sopravvivere. «Siamo abituati a pensare all'evoluzione come un processo lento – spiega Munshi-South – mentre è chiaro che l'essere umano e le sue città sono la forza dominante di questa rapida evoluzione contemporanea».

Davide Michielin

Investire nella conservazione paga

Nel 1992 si teneva a Rio de Janeiro, in Brasile, la prima conferenza mondiale dei capi di Stato sull'ambiente. Tra le convenzioni ratificate, quella sulla biodiversità prevedeva interventi per ridurne la perdita. E ha funzionato, come conferma uno studio effettuato da un gruppo internazionale di ricercatori e ora pubblicato su «Nature». Nel decennio successivo alla conferenza, i 109 governi firmatari e i donatori hanno investito 14,4 miliardi di dollari nella conservazione. Come risultato, il tasso di estinzione è diminuito in media del 29 per cento per ciascun paese. L'impatto dei finanziamenti è stato valutato dai ricercatori esaminando i cambiamenti nella biodiversità dei singoli stati dal 1996 al 2008, e lo stress causato alle specie e ai loro habitat dallo sviluppo umano. I dati sulla conservazione provenivano dalla lista rossa delle specie minacciate stilata dall'Unione internazionale per la conservazione della natura, mentre la spesa annuale per la salvaguardia sostenuta da ogni paese dal 1992 al 2003 era stata calcolata dagli autori in un precedente studio. Infine i dati sulla pressione esercitata dalla crescita economica, della popolazione e dall'espansione agricola sono stati presi dalle tabelle statistiche della Banca Mondiale.
I risultati mostrano che il 60 per cento della perdita di biodiversità nel mondo è concentrata in sette paesi: Indonesia, Malaysia, Papua-Nuova Guinea, Cina, India, Australia e Hawaii. Nello stesso periodo, altri sette paesi hanno aumentato la propria biodiversità: Mauritius, Seychelles, Fiji, Samoa, Tonga, Polonia e Ucraina. La spesa per la tutela frena il declino delle specie, mentre la pressione dello sviluppo e quella demografica lo aumentano, ma in modo non uniforme. Gli effetti maggiori si osservano più nei paesi poveri che in quelli ricchi, dove si trova il maggior numero di specie minacciate. Lo studio offre un quadro scientifico di sviluppo sostenibile e lancia un messaggio: basta una spesa relativamente bassa per tutelare un inestimabile patrimonio di biodiversità.

Eugenio Melotti

Pichunter/iStock (*mangiatoia*); Masa Ushioda/AGF

GENETICA

Oltre CRISPR

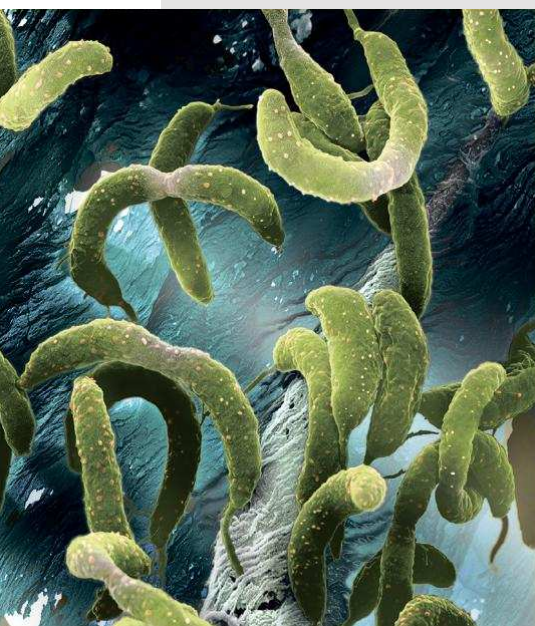
Nuovi metodi di modifica del genoma affiancano la nuova, rivoluzionaria tecnica di editing

Due metodi derivati dalla tecnica CRISPR ampliano le capacità di modificare il genoma. CRISPR taglia il DNA nel sito bersaglio, e nella sua riparazione si introducono le modifiche desiderate. David Liu, della Harvard University, ha presentato su «Nature» una tecnica che sfrutta componenti di CRISPR ma li abbina a enzimi (chiamati deaminasi) che, anziché tagliare la sequenza bersaglio, la modificano chimicamente, trasformando una determinata base in un'altra. (Il DNA è composto da quattro molecole, o basi, indicate con le lettere A, T, C, G; si possono formare solo coppie AT e CG, e viceversa.)

Liu aveva già sviluppato la tecnica per trasformare la coppia di basi GC nell'altra, AT; ma solo ora è riuscito a fare il contrario, trasformando AT in GC grazie a un enzima batterico ingegnerizzato in modo da catalizzire questa reazione. Ora quindi il nuovo metodo, detto *base editing*, può introdurre ogni tipo di modifica, e converte oltre metà delle cellule trattate, pressoché senza modifiche indesiderate. La nuova tecnica non è necessariamente migliore, precisa Liu: è una possibilità in più, e andrà valutato caso per caso quale adottare. CRISPR per esempio non funziona in cellule che non si dividono, e non è molto efficace nel modificare con precisione una singola base.

Ancor più innovativo è quanto ha mostrato su «Science» Feng Zhang, del Broad Institute di Cambridge nel Massachusetts: non si modifica il DNA ma l'RNA, composto sempre da quattro basi. Anche Zhang ha abbinato alcuni componenti di CRISPR a enzimi batterici, in grado di modificare l'RNA, trasformando la A in G (in realtà la trasforma in un'altra base, letta come fosse una G).

Per ora questo intervento ha meno applicazioni in vista. Poiché nella cellula l'RNA è rapidamente degradato, modificarlo al posto del DNA sembra una soluzione meno pratica ma anche meno rischiosa, e potrebbe aiutare a trattare condizioni transitorie come un'infiammazione, o che interessano un periodo limitato dello sviluppo embrionale, senza introdurre alterazioni geniche permanenti.

Giovanni Sabato

Lo strano senso del «tatto» dei batteri

Anche se non hanno un sistema nervoso, i batteri sanno quando toccano una superficie: smettono di andare in giro e iniziano a produrre molecole adesive formando biofilm, cioè pellicole sottili, che causano infezioni. Osservando il batterio *Caulobacter crescentus*, due studi pubblicati su «Science» hanno svelato come funziona il «tatto» nei batteri. C'entrano il flagello, appendice lunga e sottile con funzioni motorie, e i pili, strutture filamentose d'ancoraggio.

Nel primo studio coordinato da Yves V. Brun dell'Università dell'Indiana, i ricercatori hanno reso fluorescenti i pili di *C. crescentus* visualizzandone i movimenti di estensione e retrazione. Bloccando la retrazione, hanno visto che il batterio sintetizzava proteine di adesione. Da qui l'idea che sia l'inibizione di questo movimento, conseguente all'impatto con una superficie, a innescare la produzione delle molecole adesive, un processo mediato dalla sintesi di un'altra molecola, indicata con la sigla c-di-GMP. Il secondo studio, di ricercatori dell'Università di Basilea coordinati da Urs Jenal, prova che qualcosa di simile accade anche se va in panne il motore (una pompa di protoni) che muove il flagello. Quando il batterio incontra una superficie, la pressione meccanica disturba il motore protonico generando un segnale che stimola la produzione di c-di-GMP a cui segue quella delle proteine di adesione.

I ricercatori hanno scoperto meccanismi diversi perché diverse erano le condizioni sperimentali: nel primo studio i batteri erano fermi, nel secondo si muovevano in un liquido. Ma è probabile che in condizioni naturali pili e flagello collaborino al riconoscimento delle superfici. E forse, trovando il modo di bloccare la sintesi delle molecole d'adesione innescata dallo stimolo meccanico, sarà possibile prevenire le infezioni.

Martina Saporiti

TEK IMAGE/SPL/AGF (*editing*); SPL/AGF (*batteri*)

GENETICA

L'atlante dell'espressione genica umana

Presentati i primi risultati del progetto per mappare l'espressione dei geni in tutti i tessuti umani

BURGER/AGF

La prima notizia è che ci sono riusciti, a onta dello scetticismo alzatosi nel 2008 quando l'idea è stata lanciata. Dopo un piccolo studio pilota di due anni fa, una serie di articoli su «Nature» ha presentato i primi risultati su grande scala del progetto Genotype-Tissue Expression (GTEx), che mira a mappare l'espressione genica e le sequenze che la regolano in tutti i tessuti umani.

Il lavoro, coordinato da Kristin Ardlie del Broad Institute di Cambridge nel Massachusetts, ha analizzato circa 7000 campioni di 44 tessuti prelevati da 450 individui. In ciascuno si è misurata l'espressione dei geni (la produzione dei rispettivi RNA messaggeri che veicolano l'informazione per la sintesi delle proteine) e la si è messa in relazione con le sequenze di oltre 12 milioni di basi del genoma del donatore, scelte fra le più variabili.

Lo studio ha mostrato che quasi tutti i geni sono modulati da sequenze che determinano dove, quando e come si attivano. Gran parte di queste sequenze regolatorie si trova in regioni non codificanti per proteine vicine al gene regolato, e tipicamente agiscono solo sull'allele adiacente del gene e non sull'altro. Alcune sequenze sono invece lontane e agiscono su entrambe le copie del gene. I vari lavori analizzano in specifico gli effetti delle varianti rare, di norma trascurate, e l'influenza delle varianti individuate su altri meccanismi che regolano l'attività dei geni, cioè le modifiche dell'RNA e l'inattivazione del cromosoma X.

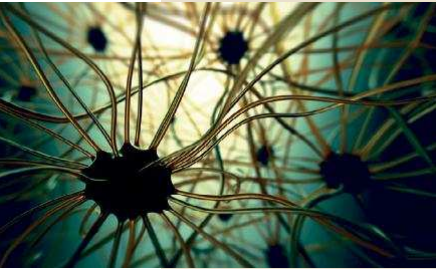
Il risultato è quindi un altro grande passo per capire come funziona il genoma, ma molti ne restano da fare, osserva un articolo di commento su «Nature». Per esempio, capire quali fra le varianti individuate influenzano direttamente l'espressione genica, e quali sono solo associate a varianti non ancora scoperte che sono le vere responsabili; o capire come queste sequenze regolano i geni; nonché misurare altri aspetti cruciali del funzionamento genico, come le modifiche all'RNA e la velocità con cui questo è tradotto in proteine. Ad alcuni quesiti lavora già un'estensione del progetto.

Giovanni Sabato

Le nozze esogamiche della preistoria

Per cercare moglie o marito, i nostri antenati preistorici «mettevano il naso fuori casa»: non si sposavano tra consanguinei ma con persone di altri nuclei familiari, scongiurando così (consapevolmente o meno) i problemi di *inbreeding* legati al manifestarsi di caratteri recessivi dannosi. Eske Willerslev dell'Università di Copenaghen, e colleghi, hanno iniziato a ragionare sulle norme sociali dei matrimoni preistorici dopo aver analizzato il DNA di quattro individui di Sunghir, sito russo del Paleolitico superiore, le cui modalità di sepoltura indicano che appartenevano allo stesso nucleo familiare.
Come si legge su «Science», i ricercatori hanno trovato una somiglianza genetica molto più bassa di quanto ci si sarebbe aspettato se nel gruppo si fossero sposati tra parenti. È probabile che gli uomini preistorici fossero organizzati come le moderne popolazioni di cacciatori-raccoglitori: un'ampia rete di piccole famiglie in cui trovare un partner al di fuori dal proprio nucleo. Visto che l'analisi genetica di fossili dei Neanderthal dei Monti Altai ha rivelato che in questo gruppo l'inbreeding c'era, potrebbe essere stata proprio la scelta di evitare accoppiamenti tra consanguinei a determinare il successo degli esseri umani moderni sugli altri ominidi. Ma è un'ipotesi tutta da verificare.

Martina Saporiti

La prima banca dati di neuroni vivi

È accessibile a tutti on line la prima banca dati su neuroni umani vitali. Ottenute da tessuti di scarto provenienti da interventi neurochirurgici su 39 pazienti, le cellule nervose sono state mantenute in attività fuori dall'organismo per tre giorni, in modo da poterne analizzare anatomia e funzionalità. Lo studio, realizzato all'Allen Institute for Brain Science di Seattle, ha ricavato il profilo genetico di 16.000 neuroni e ottenuto preziose informazioni sull'attività elettrica di 300 cellule nervose della corteccia cerebrale, di cui un centinaio ricostruite in 3D per studiarne forma, comportamento e connessioni con altri neuroni. Si tratta di un approccio innovativo allo studio del cervello umano, esaminato finora attraverso tecniche tradizionali, come l'elettroencefalogramma e l'analisi di campioni di tessuto prelevati da cadavere, o metodiche più moderne di diagnostica per immagini, come la risonanza magnetica funzionale. In futuro, grazie alla collaborazione con alcuni ospedali di Seattle, le informazioni della banca dati potrebbero essere incrociate con quelle delle cartelle cliniche dei pazienti, per evidenziare eventuali correlazioni con l'attività cerebrale, prima e dopo un intervento chirurgico. (DaPa)

Un nanocontrollo per le proteine

Risale a quattro anni fa la scoperta di un gruppo di ricercatori della Arizona State University, guidati da Stuart Lindsay, che le proteine possono condurre elettricità proprio come un metallo. La cosa aveva suscitato scalpore nel mondo scientifico poiché la comprensione delle proprietà elettriche delle proteine potrebbe portare una vera e propria rivoluzione in campo biomedico. La scoperta aveva permesso inoltre a Lindsay di mettere a punto la nano-tecnologia detta *recognition tunneling*, su cui si basano i moderni «lettori» di DNA e amminoacidi, i quali però non sono ancora in grado di leggere le proteine nella loro interezza.

Ora, lo stesso gruppo è riuscito non solo a spiegare con una teoria quantistica che cosa succede quando le catene di amminoacidi sono sottoposte a differenze di potenziale, ma anche a realizzare un nanodispositivo in grado di controllarne il comportamento elettrico in funzione del voltaggio applicato. Come descritto su «Nano Futures», per ora gli esperimenti hanno riguardato una sola proteina e il suo ligando, cioè la molecola a cui si lega, ma i risultati lasciano ben sperare per un uso concreto in un prossimo futuro. Lindsay si dice convinto che ben presto si comincerà addirittura a considerare le proteine come oggetti quantici. (MaSe)

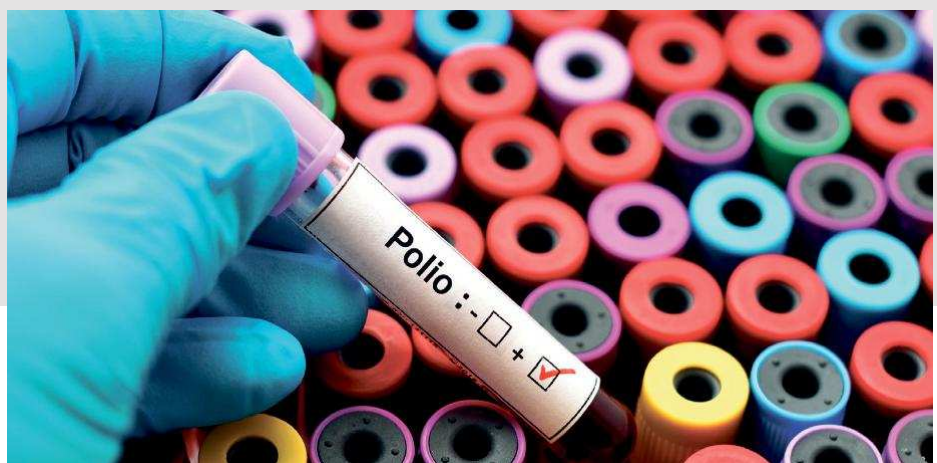
La fibra della cozza

Tanti materiali di uso comune, dagli pneumatici delle auto alle fibre tessili, sono elastomeri, cioè polimeri che si flettono e deformano senza rompersi per poi tornare alla loro configurazione originale. Non si rompono, però, solo fino a un certo livello di sollecitazione, e realizzare elastomeri più resistenti significa in generale renderli più fragili.

All'Università della California a Santa Barbara hanno messo a punto un materiale che si ispira alla sostanza con cui le cozze riescono a restare fortemente attaccate ad un substrato, sostanza tenace, elastica ma anche molto resistente. Alcuni ingegneri dei materiali, coordinati da Megan T. Valentine, l'hanno riprodotta in laboratorio, aggiungendo molecole di ferro al suo principale composto organico. Le fibre così realizzate hanno dimostrato, a pari allungamento, di essere 800 volte più rigide e 100 volte più resistenti di quelle senza l'aggiunta di ferro. La ricerca è stata pubblicata su «Science». (MaSe)

Sempre più vicina l'eliminazione della polio

La notizia è bellissima: per l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), siamo ormai a un passo dall'eliminare la poliomielite, rendendola così la seconda malattia, dopo il vaiolo, estinta grazie ai vaccini. Mentre nel 2016 ci sono stati 37 casi di paralisi causata dal virus selvatico della polio, nel 2017, a fine ottobre, i casi erano solo 12, cinque in Pakistan e sette in Afghanistan, e tutti in zone isolate. «È una ragione per festeggiare», ha detto Chris Maher, direttore del programma dell'OMS per l'eliminazione della poliomielite, per poi aggiungere: «Serve il massimo impegno globale per estinguere la malattia. Il risultato del 2017, per esempio, è dovuto alla somministrazione di 270 milioni di dosi supplementari di vaccino nelle nazioni a rischio. E ci sono ancora sfide notevoli da vincere». Una di queste è in Siria, dove la guerra ha condotto alla convivenza, in aree con acqua non potabile, di bambini immunizzati con il vaccino Sabin e bambini non vaccinati. Il Sabin consiste in virus attenuati presi per via orale, che danno una forte immunità, ma che, dopo la l'espulsione con le feci, possono tornare pericolosi e contagiare i non vaccinati. Questo ha portato a 52 casi di «polio da vaccino» in Siria nel 2017, un'epidemia che potrà essere debellata solo quando il conflitto finirà e si tornerà alle immunizzazioni di massa. (AlSa)

KTSDESIGN/SPL/AGH (*neurone*); alexat25/iStock (*cozza*); jarun011/iStock (*vaccino*)

I primi alberi

I primi alberi al mondo, i Cladoxylopsida, vissuti nel Devoniano fra circa 390 e 370 milioni di anni fa, hanno conquistato la Terra crescendo in un modo molto diverso da quelli odierni, e più complicato. Gli alberi attuali sono circondati, sotto la corteccia, da un anello di fibre legnose (lo xilema) che convogliano in alto l'acqua e i sali dalle radici. Ogni anno un nuovo anello si forma verso l'esterno accrescendo il tronco.

Alcuni fossili di una specie di Cladoxylopsida, scoperti in Cina da Hong-He Xu, dell'Istituto di geologia e paleontologia di Nanchino, mostrano invece una struttura molto diversa: il tronco aveva al centro una cavità, circondata da tessuto molle in cui erano immersi tanti piccoli fasci di xilema, collegati fra loro da un intreccio di fibre orizzontali. Così l'albero riusciva a crescere anche fino a 12 metri, con la base che, schiacciata dal peso sovrastante, cedeva man mano e diveniva più larga, riferisce Xu sui «Proceedings of the National Academy of Sciences». (GiSa)

Una data di inizio per l'Antropocene

L'impatto delle attività umane sull'ambiente è così profondo da designare una nuova epoca geologica, l'Antropocene, che però non è chiaro quando sia cominciata. Possibili spartiacque sono la rivoluzione agricola del Neolitico, quella industriale, o i test nucleari. Uno studio su «Environmental Science & Technology» di Aurea C. Chiaia-Hernández, dello Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology a Dübendorf, colloca l'inizio dell'Antropocene a metà del XX secolo.

Gli autori hanno cercato tracce di inquinamento antropico nei sedimenti di due laghi dell'Europa centrale: dai pesticidi usati in agricoltura ai rifiuti industriali ai prodotti farmaceutici. Carote lunghe un metro di sedimenti stratificati negli ultimi 100 anni sono state esaminate con una nuova tecnica, combinata a un'analisi dei dati, per caratterizzare i modelli di contaminazione nel tempo. I campioni contengono pochi inquinanti prima del secondo dopoguerra, e si registra un brusco aumento con il boom industriale degli anni cinquanta. Una diminuzione della contaminazione negli anni settanta testimonia l'efficacia del trattamento delle acque reflue, ma l'impatto ambientale nel dopoguerra ha cambiato marcia. Per i ricercatori, è lì che comincia l'Antropocene. (EuMe)

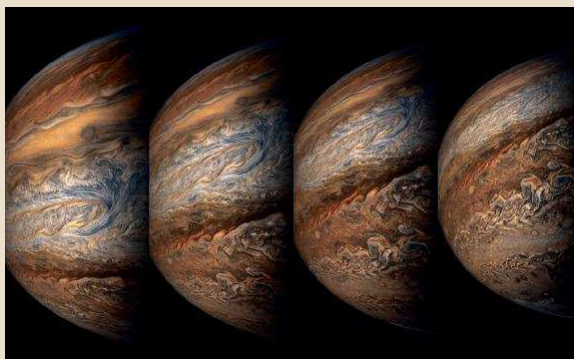
Risorse idriche in crisi in Italia

La siccità del 2017 non è stata un fatto episodico, rivelano i dati dell'Associazione nazionale dei consorzi per la gestione delle acque irrigue (ANBI): nei suoi bacini, il 70 per cento di quelli nazionali, a settembre c'erano 1066 milioni di metri cubi d'acqua contro i 1512 milioni del 2016 e i 2317 milioni del 2010. Al Sud, dove si trovano quasi tutti gli invasi, le riserve d'acqua si sono dimezzate, al Nord il volume è passato dai 18 milioni di metri cubi del 2010 a soli 2,5 milioni. «Un tempo al Nord bastavano laghi, fiumi e falde per ogni

esigenza, oggi i bacini sono indispensabili. Anche al Sud la situazione è grave: in alcune zone pugliesi dai rubinetti esce acqua salata, per l'infiltrazione del mare nelle falde», spiega Massimo Gargano, direttore generale di ANBI. La carenza idrica dipende soprattutto dal cambiamento climatico: «L'assorbimento della pioggia nel terreno richiede precipitazioni leggere e prolungate, invece sono sempre più concentrate. Inoltre nevica sempre meno, e la neve è il maggiore fattore di ricarica di falde e bacini», dice Gargano. Le soluzioni? Ridurre i consumi idrici, riusare le acque dei depuratori e costruire una rete di piccoli bacini, che intercettino molta più pioggia dell'attuale 11 per cento, ricaricando le falde. (AlSa)

Gli strati profondi di Giove

Lanciata dalla NASA il 5 agosto 2011 alla volta di Giove, la sonda Juno è arrivata a destinazione il 5 luglio 2016. Da allora, percorre un'orbita polare attorno al pianeta gigante ogni 53 giorni, offrendo, grazie ai suoi numerosi strumenti, una visione nuova di Giove e, in particolare, del suo interno. Alcuni ricercatori hanno discusso i risultati di Juno a un convegno di planetologia dell'American Astronomical Society, tenutosi di recente a Provo, in Utah.

La prima scoperta è relativa al sistema di venti vorticosi, evidenziati dalle bande colorate visibili sulla superficie del pianeta: questi venti, che agitano l'atmosfera soffiando alternativamente da est e da ovest, scendono per migliaia di chilometri verso l'interno di Giove. Altri dati arrivano dalle misurazioni del campo magnetico e del campo gravitazionale. Il primo è disomogeneo, anche il secondo rivela una struttura articolata, con differenze globali fra i due emisferi nord e sud, e locali nelle diverse fasce, a dimostrazione che alcuni flussi di gas arrivano più in profondità di altri. Juno ha anche determinato che il nucleo del pianeta è piccolo e poco definito. Un'altra sorpresa arriva dai poli, dove Juno ha scoperto otto cicloni a nord e cinque a sud. Resta da capire il perché di questa asimmetria e come possano rimanere stabili, immersi nei forti venti polari. (EmRi)

Savushkin/iStock (*tronco*); icefront/iStock (*rubinetto*); NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Gerald Eichstadt/Seán Doran (*Giove*)

Illustrazioni di Jörn Kaspuhl

La ragione alle corde

Le elezioni hanno conseguenze. Negli Stati Uniti, per esempio, Trump minaccia di tornare indietro sulla difesa dell'ambiente, togliere fondi alla ricerca e minare il concetto di verità obiettiva. La decisione britannica di abbandonare l'Unione Europea sta destabilizzando la scienza in Europa. Ma non tutti tornano indietro: in questa confusione alcuni paesi, come la Cina, vedono opportunità. Di sicuro chiunque sia interessato al futuro della scienza si sta chiedendo: che cosa ci aspetta?

IN BREVE

È stato un brutto anno. Negli Stati Uniti e in Regno Unito, tribalismo e anti-intellettualismo sembrano aver trionfato su fatti e ragione. Gli effetti si sono fatti sentire in tutto il mondo. Alcuni paesi, come la Cina, ne trarranno vantaggi, mentre le vecchie grandi potenze scientifiche arrancano.

Per ricominciare ad avanzare bisognerà capire le ragioni culturali e psicologiche per cui le persone rifiutano il pensiero scientifico. Molti ricercatori stanno ripensando il proprio tradizionale distacco dalla politica e cominciano a capire che l'opinione pubblica è una forza da prendere sul serio.

Le radici del rifiuto della scienza

Non ha nulla a che fare con la scienza in sé

di Katharine Hayhoe, conversazione con Jen Schwartz

Tecnicamente sarebbe canadese, tuttavia forse nessuno capisce la polarizzazione degli atteggiamenti verso il cambiamento climatico negli Stati Uniti meglio di Katharine Hayhoe, scienziata dell'atmosfera. La sua buona fede ha un curriculum serio: condirettrice del Climate Science Center, professore di scienze politiche alla Texas Tech University, CEO di un gruppo di consulenza sugli impatti del clima, fondatrice della serie web Global Weirding, *che si dedica a demolire miti in circolazione, cristiana evangelica che si sposta su un'automobile elettrica. Hayhoe si descrive come «ai margini di molte tribù», ed è abile a tenere presentazioni ai fedeli in una chiesa come anche a partecipare a dibattiti a cui presenziano Barack Obama e Leonardo DiCaprio; questo ha fatto di lei una delle più apprezzate e ricercate comunicatrici in materia di clima negli Stati Uniti e il bersaglio di numerosi messaggi di odio. Hayhoe ha parlato con noi della guerra contro i fatti e delle forze che alimentano lo scetticismo sul clima. Di seguito riportiamo alcuni estratti della nostra conversazione.*

J.S.

Il rifiuto della scienza è una forma di anti-intellettualismo. È un filo che attraversa la società statunitense da decenni, se non da secoli. Già nel 1980 Isaac Asimov diceva che è «alimentato dalla falsa nozione che la democrazia significhi che "la mia ignoranza vale quanto la tua conoscenza"». Oggi abbiamo a che fare con le sue più recenti manifestazioni; è al suo picco.

Il cambiamento climatico è un caso particolare di rifiuto della scienza, che risale fino a Galileo. La chiesa cattolica non se la prese con Galileo fino a quando egli non mise la testa fuori dalla torre d'avorio pubblicando in italiano invece che in latino, così da poter dire alle persone comuni qualcosa in contrasto con la posizione ufficiale della chiesa. Lo stesso con Darwin. La chiesa non ebbe problemi con la teoria dell'evoluzione fino a quando non fu pubblicata in un libro di successo che chiunque poteva leggere.

Analogamente, conosciamo il rapporto tra anidride carbonica e riscaldamento globale fin dagli anni novanta dell'Ottocento. Sono passati circa cinquant'anni da quando alcuni scienziati misero in guardia il presidente statunitense Lyndon B. Johnson dai pericoli di un cambiamento climatico. Ma a quel tempo i ricercatori non ricevevano il diluvio di mail di odio che ricevo io. Che cosa è cambiato? Forse tutto è iniziato con la testimonianza di James Hansen, climatologo della Columbia University, al Congresso degli Stati Uniti, nel 1988. Hansen aveva annunciato che una risorsa su cui contiamo tutti, e che fa ricche molte delle più grandi aziende del mondo, danneggia non solo l'ambiente ma anche l'umanità. Credo che non sia un caso se Hansen è il climatologo più insultato e attaccato degli Stati Uniti: è stato il primo a uscire dalla torre d'avorio e parlare di riscaldamento globale in un ambito in cui le implicazioni diventavano evidenti per la politica e i politici.

Si vede quindi che il problema delle persone con la scienza non è mai la scienza vera e propria. Le persone hanno problemi con le implicazioni della scienza per la loro visione del mondo e, cosa ancora più importante, la loro ideologia. Quando emerge l'anti-intellettualismo, è perché dalla comunità scientifica vengono fuori risultati nuovi e urgenti che mettono in discussione le prospettive e lo status quo di persone con potere. Ora l'energia rinnovabile è una minaccia significativa per queste persone. Più le tecnologie sono buone, più la reazione è forte. Sono all'ultima spiaggia per resistere al cambiamento, per questo il rifiuto è così febbrile.

Oggi, anche se molte obiezioni contro la climatologia sono espresse in termini vagamente scientifici – è il ciclo naturale, gli scienziati non sono sicuri, raffreddamento globale, potrebbero essere i vulcani – o addirittura religiosi – è Dio che comanda – il 99 per cento delle volte quel linguaggio è solo una cortina fumogena. Basta sottrarsi alla discussione e andare avanti solo per cinque minuti, e la conversazione approda in tutta naturalezza alle loro profonde obiezioni contro le soluzioni al cambiamento climatico.

I veri fattori in gioco

La prima domanda che le persone mi rivolgono è: «Potrebbe parlare con mio suocero, il mio rappresentante al Congresso, il mio collega? Se solo spiegasse i fatti, cambierebbe opinione». È una trappola. Fa di noi dei Don Chisciotte pronti a scontrarsi con queste persone dicendo: «Ecco come facciamo a sapere che non si tratta di un ciclo naturale!». Non funziona quasi mai. L'unico modo per avere un dialogo costruttivo con una persona che non vuol sentire è passare al livello di ciò che davvero la preoccupa.

Come ha fatto la narrazione del cambiamento climatico a diventare un sistema polarizzato, una fede? Se guardiamo i sondaggi, rispetto a venti o trent'anni fa negli Stati Uniti il livello di polarizzazione politica è sbalorditivo. La polarizzazione implica la crescita del tribalismo: un'adesione irriflessa e indiscussa ai dogmi della propria tribù. Dato che la soluzione per il clima sembra sfidare l'ideologia della destra dello schieramento politico, è diventata una delle questioni più polarizzate. Siamo a un livello di tribalismo tale che, se sei di sinistra, è come una dichiarazione di fede dire che il cambiamento climatico è reale. Per chi è di destra è un dogma dire che non lo è. È il motivo per cui un linguaggio «di fede» ha preso il sopravvento in modo naturale invece che artificiale.

Detto questo, il cambiamento climatico è deliberatamente presentato come una falsa religione da chi vuole che i credenti la rifiutino. Ci sono politici conservatori che dicono: «Io sono un vero credente, e mi rifiuto di credere che non sia Dio a comandare». Come tecnica di comunicazione è abile, perché se io sono cristiana – e lo è più del 70 per cento degli statunitensi – mi è stato insegnato che devo stare in guardia dai falsi profeti. E diffidare di chi dice cose che sembrano buone ma in realtà ti portano ad adorare il creato invece del creatore, la Terra e non Dio.

Quando ho parlato a un pubblico di scettici, a volte qualcuno è

Siamo arrivati a un livello di tribalismo tale che per chi è di sinistra, è come una dichiarazione di fede dire che il cambiamento climatico è reale, per chi è di destra è un dogma dire che non lo è

venuto a dirmi: «Quello che dice ha senso, e mi piacerebbe poter essere d'accordo con lei, ma non posso perché significherebbe essere d'accordo con Al Gore». Ogni volta che si percepisce l'adorazione della Terra scatta una radicata reazione di rifiuto. Una delle immagini umoristiche che a volte presento nelle mie conferenze è intitolata *La chiesa della climatologia*: c'è Al Gore che fa il predicatore, e i ragazzi del coro sono altri politici e celebrità. Una volta qualcuno ci ha messo anche la mia testa nel coro, con Photoshop. E ho pensato che era divertente, perché in effetti capisco come si sentono le persone. Bisogna riderne insieme prima di poter passare a parlare del rapporto tra credenze e prove.

Per questo Al Gore è sia uno dei migliori sia uno dei peggiori messaggeri del cambiamento climatico. Fra i migliori perché è appassionato, ben informato e ha un gran seguito. Ma allo stesso tempo, e so che lo riconosce, in questa società politicamente polarizzata Gore è di una sola tribù. Per definizione vuol dire che l'altra tribù lo deve respingere insieme a ciò che rappresenta.

Il cambiamento climatico è anche un caso tipico di «tragedia dei beni comuni», e richiede un'azione a livello della comunità. Gli Stati Uniti sono il primo paese del mondo per individualismo, e l'atto di fondazione è stato una rivolta contro un governo invadente e le tasse. A molti statunitensi bisogna parlare di più di soluzioni basate su mercato e tecnologia, che facciano appello ai loro valori, senza cercare di cambiare la loro identità. Prendiamo John Cook, scienziato cognitivo australiano, fondatore del blog Skeptical Science, che esamina e smonta gli argomenti di chi nega il riscaldamento globale. Non aveva convinto nemmeno suo padre del cambiamento climatico. Ma poi il padre di John, conservatore in materia fiscale, ha aderito a un programma di incentivi e si è messo in casa i pannelli solari. Ha risparmiato e ha cominciato a dire a tutti che quei pannelli erano una meraviglia. Dopo un po' ha detto a John: «Questa storia del cambiamento climatico probabilmente è vera, sto facendo la mia parte». Non c'era bisogno di diventare un adoratore degli alberi salva-balene: adesso poteva inserire il cambiamento climatico nella sua identità.

Anche nella comunità scientifica c'è grande confusione su come comunicare. Il *deficit model* – dategli i fatti, e basterà – non funziona nel discorso pubblico, salvo quando tutti sono politicamente neutrali. Per questo le scienze sociali sono sempre più importanti. Sono stata metodo sperimentale io stessa in uno studio in cui mi è stato chiesto di parlare in un college della Chiesa Evangelica. Un ricercatore ha posto domande agli studenti sul riscaldamento globale prima e dopo la mia conferenza, trovando differenze nella loro prospettiva. Molti oggi stanno facendo questo tipo di test del messaggio. Il modo in cui gli esseri umani interagiscono con l'informazione è un'area di ricerca emergente e importante.

Gli scienziati tendono anche ad attenuare l'impatto del cambiamento climatico. Preferiamo rischiare di sbagliare, come ha detto una volta un ricercatore, «nel senso di non fare troppa scena». Abbiamo riesaminato vent'anni di studi, scoprendo che sottovalutiamo sistematicamente tasso e velocità del cambiamento. Oggi la scienza del clima è sotto esame a tal punto che vogliamo essere sicuri al 99,9 per cento dei risultati prima di parlare. Ma non saremo troppo prudenti? È un problema che affronto ogni giorno.

Il lavoro che ci attende

Insomma, non possiamo risolvere queste istanze – culturali, politiche, psicologiche – prima di intraprendere le azioni necessarie per il cambiamento climatico. Le persone mi dicono: «Se si potesse convincere tutti con gli argomenti scientifici...» e io rispondo: come no, buona fortuna! Come ha funzionato negli ultimi quattro o cinque secoli? Il clima è un problema urgente. La finestra di opportunità si sta chiudendo. Dobbiamo metterlo a posto con la società imperfetta e difettosa che abbiamo oggi.

Bisogna partire dal chiedersi quali sono i valori delle persone, da dove vengono, che cosa amano e di che cosa hanno paura, per che cosa si alzano dal letto la mattina. Io dico: «Siamo d'accordo di essere in disaccordo; ma tu non sei a favore dei tanti posti di la-

voro che l'energia solare porta in Texas? Lo sapevi che la città di Fort Hood usa il solare perché costa meno?». Se qualcuno dovesse pensare che il solare ci protegge dall'immigrazione o dai terroristi o dall'anticristo, ottimo, va bene così. Con certi gruppi evito anche di mettere le parole «cambiamento» e «clima» una accanto all'altra. Con i cristiani parliamo del messaggio biblico che affida a noi il creato. Con i *libertarian* parliamo di strategie di libero mercato. Con le mamme parliamo dell'inquinamento che colpisce la salute dei nostri bambini. Con gli agricoltori dico: «Voi siete la spina dorsale del nostro sistema alimentare, come sono cambiati gli andamenti della siccità?» Io non do conferme all'idea che sulla scienza del clima ci sono destra e sinistra. E non dovrebbero farlo neanche i media. Dovremmo badare, piuttosto, a soluzioni e impatti.

Il mio consiglio numero uno per chi fa comunicazione sul clima, o su qualsiasi scienza, è: non concentrarti sulle persone sprezzanti. In realtà è solo una piccolissima parte della popolazione, e sono quasi tutti bianchi e anziani. Certo la maggioranza sembra concentrata a Washington oggi. Comunque chi reagisce in maniera così emotiva lo fa perché su questo rifiuto mette la sua identità. Fa parte di loro quanto un rene, il cuore. Se chiedi di cambiare idea, sei una minaccia. Vale la pena affrontarli in pubblico e dire: «Non sai quello che dici. I dati sono questi»; non per far cambiare idea a loro, ma per mostrare agli altri che abbiamo risposte.

Perché il fatto è questo: se guardiamo le indagini della Yale University sulla comunicazione sul clima, la maggior parte degli statunitensi è d'accordo che il cambiamento climatico è reale, è dovuto all'uomo ed è importante fare qualcosa. Ma il problema numero uno è che il 60 per cento non pensa che il cambiamento climatico li riguardi personalmente. Pensa che sia un problema dei paesi poveri o delle generazioni future. Fa parte della nostra psicologia negare un problema schiacciante quando non lo abbiamo immediatamente addosso. E fino a poco tempo fa siamo stati protetti dalla nostra infrastruttura, e dai programmi assicurativi sui raccolti e sulle abitazioni. Ma è chiaro che a questo punto siamo con le spalle al muro; e il mio lavoro è unire tutti i puntini.

Per questo noi autori del *National Climate Assessment* commissionato dal governo statunitense abbiamo aggiunto un supplemento sulla scienza del clima. È la prima volta che lo facciamo, ed è il rapporto più completo e definitivo sul cambiamento climatico pubblicato dal governo degli Stati Uniti. È stato pubblicato a novembre, abbiamo fatto un grosso sforzo per scrivere in un linguaggio comprensibile alle persone e credo metta fine alla discussione «destra e sinistra». Riporta la scienza al livello della nostra vita. Fa vedere come il cambiamento climatico colpisce cibo, acqua, economia, agricoltura, infrastrutture e sicurezza.

L'obiettivo è mettere le basi scientifiche a disposizione di chiunque voglia sapere, sia a grandi linee sia nello specifico, perché il cambiamento climatico è importante per noi, ora. Tante persone negli Stati Uniti sono tra i prudenti e i non schierati, ma spesso sembrano silenziose. Dobbiamo filtrare il rumore prodotto da chi nega il problema e parlare con quelli che si tengono ai margini, in ascolto, che ancora non sanno che cosa pensare su quello che va fatto ma sono aperti al dialogo. Lasciamo perdere l'elaborata cortina fumogena. Cedere all'illusione che i negazionisti del clima possano essere convinti allineando altri fatti significa perdere di vista il gruppo assai più vasto di quelli che vorrebbero capire perché e come bisogna andare avanti con le soluzioni. Che poi è proprio quello che vogliono i negazionisti. ■

Jen Schwartz è *senior editor* di «Scientific American» per tecnologia e neuroscienze.

Gestire i messaggi

Gli scienziati stanno esplorando nuove vie per conquistare un pubblico scettico

di Brooke Borel

Nel 1999 Robert Shapiro, allora a capo di Monsanto, ha recitato uno stupefacente mea culpa a un congresso di Greenpeace, a Londra. Le prime colture geneticamente modificate di Monsanto erano sul mercato da soli tre anni, ma subivano una forte reazione negativa del pubblico. Dopo averli lanciati in modo approssimativo e senza trasparenza, aveva detto Shapiro, l'azienda aveva risposto discutendo, invece di dialogare. «La nostra fiducia in questa tecnologia è stata largamente vista, e comprensibilmente, come condiscendenza, o meglio arroganza», aveva dichiarato. «Pensavamo che il nostro compito fosse convincere, troppo spesso ci siamo dimenticati di ascoltare».

Il danno ormai era fatto. Quindici anni dopo solo il 37 per cento degli statunitensi riteneva sicuro mangiare cibi geneticamente modificati, a fronte dell'88 per cento degli scienziati, secondo il Pew Research Center. Gli enti regolatori degli Stati Uniti hanno litigato per anni su se e come etichettarli. Nel 2015 più di metà dell'Unione Europea ha bandito queste colture.

La scienza non avviene nel vuoto. Ma storicamente molti ricercatori non hanno dato una gran bella prova di sé nel confrontarsi con le complicate relazioni – o anche solo nel riconoscerle – fra il loro lavoro e il modo in cui è percepito una volta uscito dai laboratori. «La penosa esperienza che abbiamo vissuto con i cibi geneticamente modificati è stata una dimostrazione pratica di quello che succede quando non si riesce a coinvolgere il pubblico con informazioni precise, e a dare alle persone la possibilità di riflettere su vantaggi e svantaggi in prima persona», dice R. Alta Charo, bioeticista e professoressa di giurisprudenza all'Università del Wisconsin a Madison. Quando si interrompe la comunicazione tra la scienza e la società di cui è al servizio, confusione e sfiducia che ne derivano intorbidiscono tutto, dalla ricerca agli investimenti industriali alle normative.

Nell'era emergente della tecnica CRISPR e del *gene drive*, gli scienziati non vogliono compiere di nuovo gli stessi errori. Questi nuovi strumenti danno ai ricercatori una capacità senza precedenti di correggere il DNA di qualunque essere vivente, e nel caso del gene drive di alterare il DNA di popolazioni selvatiche. Le applicazioni potrebbero affrontare grandi problemi globali, ridimensionando minacce sanitarie come la malaria e generando piante coltivabili più resistenti al cambiamento climatico. Ma ammesso che CRISPR e gene drive rispondano alle attese – e che i relativi prodotti risultino sicuri sia per le persone sia per l'ambiente – a

RELAZIONI COMPLICATE

Le deficienze del deficit model

Lo standard di riferimento nella comunicazione di massa della scienza era il deficit model, secondo cui la chiave dell'accettazione è l'istruzione. Basta spiegare al pubblico scettico la scienza dei vaccini o quella degli organismi geneticamente modificati e la sfiducia cadrà. Ma recenti lavori di ricercatori come Dan M. Kahan della Yale Law School suggeriscono che la relazione è più complicata, e coinvolge identità e credenze personali. Il lavoro di Kahan mostra che persone con valori politici contrastanti traggono conclusioni diverse di fronte alle stesse prove anche quando hanno una preparazione scientifica.

Grafica di Amanda Montañez; fonte: Dan M. Kahan. *What is the Science of Science Communication?*, in «Journal of Science Communication», Vol. 14, n. 3 pubblicato on line il 25 agosto 2015.

che cosa serve anche la più promettente delle tecnologie se il pubblico la rifiuta?

«Senza trasparenza, potremmo assistere a una sorta di iper-polarizzazione», dice Jason Delborne, professore di scienza, politiche e società alla North Carolina State University. I gruppi che nutrono preoccupazioni si sentiranno emarginati, e i sostenitori non riceveranno i commenti critici necessari per migliorare progettazione e sicurezza. «Questo espone la tecnologia al rischio che ai primi segni di difficoltà scatti di riflesso una moratoria», nota.

Per evitare che finisca così, alcuni ricercatori stanno battendo nuove strade. Invece di far cadere dall'alto nuove tecnologie mature, vanno attivamente in cerca di commenti e reazioni, a volte prima ancora di partire con la ricerca. Questo non vuol dire che il conflitto politico e sociale scomparirà, dice Delborne, «ma contribuisce a un contesto per un'innovazione più democratica». Aprendo fin alle prime fasi un dialogo con enti regolatori, gruppi ambientalisti e comunità in cui gli strumenti da sviluppare potranno essere usati, gli scienziati in pratica stanno migliorando, con sottili aggiustamenti, i propri programmi di ricerca, mentre esercitano più controllo sulla narrazione del loro lavoro.

Prendiamo Austin Burt, genetista evolutivo. Nel 2003 ha pubblicato il primo lavoro teorico sul gene drive da realizzare con l'ingegneria genetica. Poco dopo, finanziato dalla Bill & Melinda Gates Foundation, ha lanciato con i suoi colleghi un progetto di ricerca per vedere se con questa strategia si potevano controllare le zanzare *Anopheles*, che diffondono la malaria. In quegli anni, quando non c'era la tecnica CRISPR, la tecnologia era così ipotetica che sensibilizzare il pubblico «sarebbe sembrato far perdere tempo alle persone», dice Burt. Ma adesso che un gene drive funzionante potrebbe essere pronto per una valutazione da parte delle autorità di regolamentazione nel giro di cinque anni, è essenziale parlare alle comunità in cui la tecnica potrebbe essere applicata, aggiunge, «in modo da fare cose che risultino accettabili non solo per i regolatori ma per il pubblico».

La spinta a una riflessione è venuta in particolar modo da coloro che tengono i cordoni della borsa. Nel 2016 le National Academies of Sciences, Engineering and Medicine hanno pubblicato il rapporto *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty and Aligning Research with Public Values* (Gene drive all'orizzonte: far avanzare la scienza, navigare attraverso le incertezze e allineare la ricerca ai valori pubblici). Gli sponsor – varie agenzie federali, Bill & Melinda Gates Foundation e Foundation for the National Institutes of Health – avevano chiesto raccomandazioni esaustive in materia di etica e coinvolgimento del pubblico, dice Keegan Sawyer, direttore di progetto del rapporto. Sono elementi presenti anche in altri rapporti delle National Academies, ma il modo in cui sono messi insieme in quello sul gene drive è «insolito», dice Sawyer.

L'agenzia DARPA è tra i soggetti che danno ascolto a queste linee guida. La sua nuova iniziativa chiamata Safe Genes, che finanzierà sette progetti di ricerca per capire come mettere in campo e controllare il gene drive, richiede che in tutti i progetti ci sia un vasto programma di coinvolgimento del pubblico. Fra i desti-

natari dei finanziamenti c'è un gruppo della North Carolina State University di cui fa parte anche Delborne: il suo compito sarà sovrintendere al coinvolgimento della società in un progetto di gene drive che punta a eliminare i topi invasivi da alcune remote isole per proteggere uccelli marini e altre specie selvatiche. Anche se la ricerca è ancora in corso, Delborne dichiara che i partner «sono stati chiari fin dall'inizio nel dire che se le persone rifiutano questa tecnologia per ragioni etiche o perché temono i rischi, anche se gli scienziati non la vedono allo stesso modo, questa strada sostanzialmente porta a un no». In parole povere, gli scienziati sono disposti a fermare il progetto.

Ancora più in là, in questo senso, va Kevin Esvelt, studioso di ingegneria evoluzionistica al Massachusetts Institute of Technology. Esvelt si occupa di tecnologie genetiche con cui alterare topi selvatici in modo che non possano più diffondere l'agente patogeno della malattia di Lyme. L'anno scorso, prima ancora di cominciare il lavoro di laboratorio, Esvelt è andato in una località flagellata da questa malattia, Nantucket, in Massachusetts, per vedere se gli abitanti erano interessati ad approcci di tipo genetico, gene drive compreso, anche se in questo caso Esvelt sconsiglia questa opzione perché la ritiene inadatta. Nantucket ha seguito Esvelt sui gene drive, anche se quella comunità sta esplorando le possibilità di un'altra tecnologia per immunizzare i topi contro l'agente patogeno.

Esvelt ha affrontato nel modo più diretto una specifica area di incertezza etica del gene drive, che è fatto per diffondersi e resistere nell'ambiente: a chi tocca decidere se e come usare una tecnologia del genere? «Per me è sbalorditivo che ci abbiano dato tanta attenzione solo per esserci rivolti alle comunità prima di fare qualsiasi altra cosa», dice Esvelt. «La dice lunga, penso, su come in genere si fa la scienza».

Se l'emergere di questi sforzi ridurrà o meno paura e scetticismo «dipende da quanto le persone che sono in ascolto sapranno dar retta a queste preoccupazioni», dice Jennifer Kuzma, condirettrice del Genetic Engineering and Society Center della North Carolina State University. In altre parole, i ricercatori devono essere disposti non solo ad ascoltare la confusione e le reazioni negative del pubblico ma anche ad adattarsi a esse, anche se questo dovesse significare mettere da parte una tecnologia che, secondo loro, potrebbe cambiare il mondo. ■

Brooke Borel, giornalista e scrittrice, scrive spesso di biotecnologie.

La frattura continentale

La Brexit sta già destabilizzando la scienza nel Regno Unito e in tutto il resto dell'Europa

di Inga Vesper

La società britannica ha sempre apprezzato le menti scientifiche, e ha prodotto luminari come Isambard Kingdom Brunel, mago dell'ingegneria, Anne McLaren, biologa dello sviluppo, e Tim Berners-Lee, l'inventore del World Wide Web. Ma nel giugno 2016 l'immagine del Regno Unito come paese che guarda al futuro ha subito un colpo devastante. Il 52 per cento dei votanti ha deciso che voleva lasciare l'Unione Europea. Il 29 marzo di quest'anno il governo ha ufficialmente dato il via al processo di uscita, la «Brexit»: un ginepraio in cui 143 negoziatori, britannici e della UE, dovranno fare un migliaio di cambiamenti alle leggi oggi in vigore e decidere che cosa fare dei 3 milioni di europei che vivono nel Regno Unito e dei britannici, 1,2 milioni, che vivono nella UE. David Davis, ministro per la Brexit, l'ha definita un'impresa «complicata come andare sulla Luna».

Chi ha votato per la Brexit ha visto in questa scelta un passo verso la sovranità. Ma per gli scienziati che ci sono in mezzo il referendum ha dato il via a un incubo di perdita di talenti, incertezza dei finanziamenti e instabilità politica e personale. «Non c'è un piano chiaro», dice Mike Galsworthy, un anestesiologo ricercatore che ha contribuito alla fondazione, nel periodo pre-elettorale, di un gruppo di pressione chiamato Scientists for EU, con sede a Londra. «Oggi il Regno Unito è fondamentalmente meno stabile, e questo rende difficile per gli scienziati avere una carriera e fare programmi a lungo termine». Da un sondaggio promosso dal gruppo e ancora in corso emerge che più di un quinto degli scienziati sta considerando l'ipotesi di lasciare il paese o conosce qualcuno che lo sta facendo. Le conseguenze di una diaspora degli scienziati dal Regno Unito potrebbero gettare nello scompiglio la ricerca europea.

La Brexit sta mostrando come la scienza moderna sia un sistema sempre più interconnesso in cui si riverberano gli shock della politica e della società. L'instabilità di un paese si ripercuote su tutti i suoi partner, e sugli scienziati che vi risiedono, che siano cittadini del paese o stranieri. Il lavoro scientifico ha bisogno di collaborazione, ma un tema centrale della Brexit è limitare la libertà di movimento. Mentre i politici assecondano le posizioni della destra sull'immigrazione, suggerendo che l'apertura dei confini danneggia l'economia britannica, molti scienziati riferiscono di diffidenze nei loro partner europei verso la possibilità di lavorare con o nel paese. Anne Glover, per esempio, biologa dell'Università di Aberdeen, in Scozia, e già consigliere scientifico del presidente della Commissione Europea, dice che gli arrivi di studenti della UE ad Aberdeen sono marcatamente calati e che parte del personale europeo è già andato via. Cesare Terracciano, cardiologo italiano dell'Imperial College di Londra, riferisce che i colloqui sulle collaborazioni tra la sua istituzione e i laboratori europei sono stati sospesi. I responsabili di progetti europei che hanno la nazionalità britannica, come Gerry Gilmore, che dirige l'Optical In-

frared Coordination Network for Astronomy della Commissione Europea, potrebbero perdere i loro incarichi con il passaggio delle relative istituzioni all'Europa continentale.

A conferma di questi casi aneddotici, i numeri annunciano il caos che verrà. Secondo lo U.K. Office for National Statistics, nel 2016 un totale di 117.000 europei ha lasciato per sempre il paese, con un aumento del 36 per cento sull'anno precedente. Il mondo scientifico sembra subire colpi particolarmente duri: circa il 18 per cento dei ricercatori di nazionalità non britannica che nel Regno Unito hanno assegni post-doc finanziati dall'UE sta cercando un posto altrove, secondo un rapporto del Science and Technology Select Committee del governo britannico. Con la caduta della sterlina, i compensi dei post-doc sono meno competitivi, soprattutto paragonati a quelli degli Stati Uniti. La Higher Education Workforce Survey pubblicata il 31 luglio ha trovato che circa un terzo delle università riferisce di un impatto negativo della Brexit sul reclutamento o la conservazione del personale proveniente dall'UE.

Le ricadute vanno oltre i problemi pratici: c'è anche un aumento dei casi di aperta espressione di sentimenti anti-immigrati. Scientists for EU dice che alcuni ricercatori sono stati oltraggiati per strada e i loro figli bullizzati a scuola. «Adesso stanno attenti al loro accento o alla lingua che parlano con i figli, l'ambiente è molto più spiacevole», dice Galsworthy. Per Stefan Söldner-Rembold, tedesco di nascita, oggi a capo del Dipartimento di fisica delle particelle dell'Università di Manchester, questi fattori *soft* possono contare tanto quanto gli aspetti finanziari, quando si tratta di scegliere dove fare carriera. «Ci sono colleghi in difficoltà, i cui familiari si sentono dire: "Che ci fate ancora qui?"», dice. «Una persona ha bisogno di sapere che in questo paese per i suoi figli e il suo partner ci sono prospettive. Ora non è affatto chiaro».

Elementi di fragilità

Una grossa minaccia per la continuità della scienza europea è la questione della presenza britannica nel sistema di finanziamento della ricerca europeo, che esiste ormai da 33 anni. Horizon 2020, l'attuale fase del programma, dispone di un robusto budget di 80 miliardi di euro, da allocare tra il 2014 e il 2020; la fase successiva, il IX Programma Quadro, dovrebbe averne 120 di miliardi di euro. Il Regno Unito è fra i partecipanti di maggior successo, e ha ricevuto il 15,5 per cento circa di tutti i fondi di Horizon 2020 finora assegnati.

Horizon 2020 è aperto solo agli stati membri dell'UE o a paesi associati come la Norvegia: gli altri paesi, se vogliono accedervi, devono contribuire con una quota che dipende dal loro prodotto interno lordo. Il clima politico nel Regno Unito oggi è tale che qualsiasi contributo da versare all'UE dopo la Brexit troverà un'opposizione molto aggressiva. Il governo guidato da Teresa May ha cercato di rassicurare gli scienziati dicendo che le eventuali perdite di finanziamenti sarebbero state compensate con fondi interni. Ma gli scienziati non ci credono. «Visto lo stato dell'economia britannica, probabilmente questi fondi non saranno sostituiti allo stesso modo», dice Söldner-Rembold.

Glover, che ha partecipato a diversi progetti di Horizon 2020, afferma che il valore del programma va oltre il denaro. Quando lavora, per esempio, con gli Stati Uniti, gli scienziati devono presentare le loro proposte separatamente nei due paesi, e poi sperare che entrambe ricevano luce verde. Nel quadro di Horizon 2020 si può invece costruire un'unica proposta per ciascun progetto. «Questo mi consente di lavorare senza intoppi con colleghi che sono, per esempio, in Estonia o in Italia», dice Glover. «La scienza è un'impresa internazionale. Non si può sperare di essere all'avanguardia nei risultati senza poter collaborare liberamente con i migliori nel mondo». E, aggiunge Galsworthy, se le restrizioni alla libertà di movimento vanno a colpire visti e permessi di soggiorno, «questo potrebbe facilmente voler dire che saremo tagliati fuori da Horizon 2020».

Con questo possibile esito in vista, i concorrenti vicini – e giganti scientifici emergenti come India e Cina – sono ansiosi di accogliere gli scienziati in fuga dal Regno Unito. È vero che il paese produce alcuni dei lavori scientifici più validi del mondo, ma altri paesi dell'UE stanno colmando le distanze in termini sia di volume delle pubblicazioni sia di prestigio. L'UE oggi genera il 34 per

cento della produzione scientifica globale, e paesi come Germania, Francia, Svezia e Paesi Bassi vedono ora nella Brexit un'opportunità di andare a caccia di talenti.

In effetti, la scienza britannica è eccellente ma fragile. Con una popolazione di soli 65 milioni di abitanti, il paese è piuttosto piccolo, e i suoi laboratori contano su gruppi di esperti internazionali scelti uno per uno, con il 20 per cento di scienziati che proviene dall'UE. Può bastare perdere un solo esperto super-specializzato affinché un'intera organizzazione vada in pezzi. Secondo un gruppo di pressione come University UK, più della metà della ricerca prodotta nel Regno Unito viene da collaborazioni internazionali, contro meno del 40 per cento per gli Stati Uniti. Se il sistema dovesse subire troppi scossoni, la posizione di leadership del paese potrebbe uscirne a pezzi.

L'idea che quello che danneggia il Regno Unito possa in qualche modo far crescere i suoi vicini è tuttavia assurda, dice Thomas Jørgensen, coordinatore strategico *senior* della European University Association, un gruppo di interesse interuniversitario. Il Regno Unito ospita alcune delle migliori istituzioni scientifiche d'Europa, come l'Università di Oxford e l'Università di Cambridge, regolarmente ai vertici delle classifiche globali. (Entrambe le università ricevono circa il 13 per cento dei loro fondi di ricerca dall'Unione Europea.) Il sistema scientifico britannico è unico in Europa, non da ultimo perché parla una lingua che quasi ogni europeo impara da bambino a scuola. «Il Regno Unito va bene perché il suo ambiente di ricerca sfrutta una serie infinita di variabili che non si possono semplicemente riprodurre», spiega Jørgensen. «La scienza non è una fabbrica. Non si può spostare altrove come se nulla fosse». E teme che le conseguenze della chiusura dei rubinetti del talento indeboliranno la competitività scientifica di tutto il continente: «A livello sistemico, ridimensionare il partner più forte è un danno per tutti».

Ora molte università, spesso accusate di eccessivo distacco dagli strepiti di una politica emotiva e superficiale, riconoscono di essere dolorosamente dipendenti proprio dalla politica. Scientists for EU spinge per assicurare che il governo britannico parta dai fatti empirici per facilitare la Brexit, ma è una strada tutta in salita, in un clima politico dominato da slogan e informazione distorta. Alla fine dell'anno scorso il Science and Technology Select Committee ha raccomandato che il nuovo Ministero per l'uscita dall'Unione Europea si dotasse di un capo consigliere scientifico che fornisse prove basate sui fatti in tema di Brexit. A oggi, il posto resta scoperto. Ovviamente la Brexit non è mai stata una questione di fatti e di logica. Al referendum ha vinto, di stretta misura, una narrazione di cittadini feriti nell'orgoglio e convinti di essere stati truffati. Poi però, in uno strano contrappasso, gli scienziati europei stanno votando anch'essi per l'uscita.

Terracciano, il cardiologo venuto dall'Italia, ha passato molte notti insonni a preoccuparsi per la scienza britannica, che teme essere sull'orlo di un circolo vizioso. La possibile perdita di finanziamenti, unita al calo di prestigio, rende il paese meno attraente per i ricercatori, e questo aggraverà la perdita di talenti. Eppure Terracciano capisce bene quali sono le motivazioni per cui i suoi colleghi europei stanno cercando nuovi posti dove andare a fare ricerca. «Le persone se ne vanno perché anni e anni di servizio e dedizione non trovano riconoscimento», dice. «Proviamo tutti la rabbia di aver scelto il cavallo sbagliato». ■

Inga Vesper, giornalista tedesco-britannica, vive a Londra ed è specializzata in clima, ambiente e politica. Si occupa di scienza e Unione Europea da dieci anni.

Il momento della Cina

Vedendo una possibilità di porsi all'avanguardia, la Cina mette in campo energia pulita, satelliti quantistici e genomica

di Lee Billings

Lo scorso giugno, quando il presidente degli Stati Uniti Donald Trump ha annunciato l'intenzione di ritirarsi dagli accordi di Parigi sul clima, tutti gli occhi si sono rivolti con ansia verso la Cina. I commentatori temevano che il presidente Xi Jinping avrebbe visto nella mancata partecipazione del paese che storicamente è stato il massimo inquinatore una via d'uscita per il suo paese dall'impegno di ridurre le emissioni, e che l'intero accordo sarebbe venuto meno. Invece Xi, ex chimico, ha confermato l'impegno della Cina a investire nelle energie rinnovabili e a raggiungere gli obiettivi in materia di emissioni. In effetti, la Cina sta già superando in volata alcuni dei traguardi fissati.

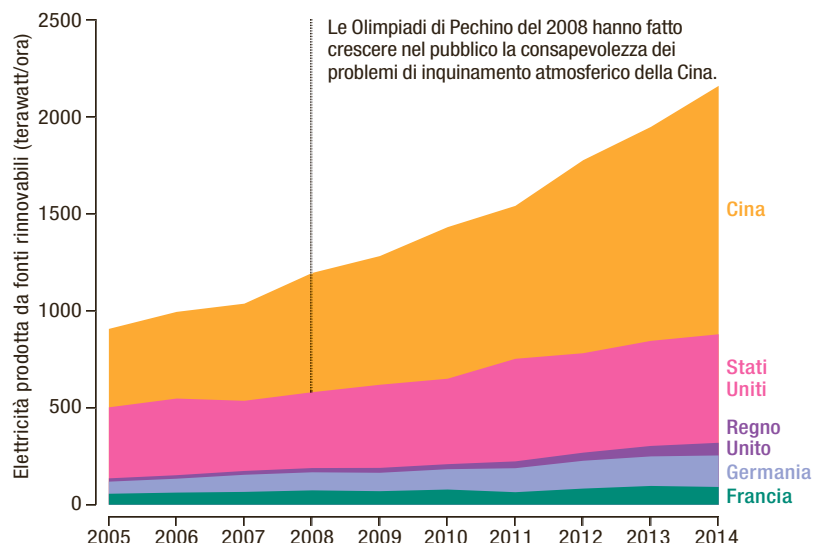
L'innovazione con celle solari e reattori nucleari di nuova generazione è solo una parte del massiccio investimento della Cina nella ricerca scientifica. Se lo sviluppo economico è sempre più il motore della crescita economica e della forza di un paese, il sostegno alla ricerca di base e alle applicazioni della scienza è il carburante che lo alimenta. Per larga parte del secolo scorso gli Stati Uniti hanno mantenuto una posizione dominante in questa arena. Ma con la nuova amministrazione, che cerca di rivitalizzare il settore carbonifero, taglia gli stanziamenti per la ricerca, contesta il valore dell'Environmental Protection Agency e svaluta l'idea di basare le scelte politiche sulle prove scientifiche, rinunciando alla leadership scientifica mondiale, la Cina sta riempiendo il vuoto, e le conseguenze per il mondo potrebbero essere profonde.

«Lo sviluppo della tecnologia cinese porterà benefici per tutti», dice Robert Daly, direttore del Kissinger Institute for China and United States presso il Woodrow Wilson International Center for Scholars di Washington. «Però via via che incrementa il proprio potere complessivo come paese, la Cina è sempre più in grado di determinare un ambiente globale più rispondente agli obiettivi del Partito comunista cinese e alle sue idee illiberali sui rapporti fra Stato e individui, istituzioni e informazione». Compresa la spinosa questione delle norme sulla proprietà intellettuale, che sono assai più permissive in Cina che in Occidente.

La spina dorsale dell'ascesa della Cina in questo campo è il suo 13° Piano quinquennale, che conta su ricerca scientifica e tecno-

Motivazione verde

In larga parte, la spinta della Cina verso lo sviluppo delle fonti rinnovabili può essere vista come una risposta alle crescenti tensioni sociali dovute ai pericolosi livelli di inquinamento. Alla vertiginosa industrializzazione ha corrisposto un altrettanto vertiginoso degrado dell'ambiente, con città soffocate dalla fuliggine. Ma non c'è solo questa motivazione. La Cina vede anche l'opportunità di sviluppare e installare tecnologie per fonti rinnovabili di cui nel prossimo futuro avranno presumibilmente bisogno molti altri paesi per mitigare le emissioni di gas serra. È uno dei motivi per cui TerraPower, per esempio, la società di Bill Gates per i reattori nucleari, ha scelto come partner la Cina. Negli Stati Uniti, interesse, investimenti e tempistiche semplicemente non c'erano.

Grafica di Amanda Montañez; fonte: International Energy Agency

logia come propulsori essenziali della crescita economica. Il risultato sono gli sbalorditivi 1200 miliardi di dollari da investire in ricerca e sviluppo tecnologico tra il 2016 e il 2020. Di questi, 373 miliardi sono destinati al solo campo delle fonti energetiche rinnovabili. In più, l'iniziativa decennale «Made in China 2025» sostiene il progresso di aree come intelligenza artificiale, *cloud computing*, robotica, biotecnologie e veicoli elettrici.

Questi programmi stanno già dando risultati. In termini di potere d'acquisto relativo, la Cina spende in ricerca e sviluppo più dell'Unione Europea. E secondo l'OCSE è sulla buona strada per superare la spesa degli Stati Uniti entro il 2020. Nello scorso decennio il contributo della Cina al volume totale degli articoli di ricerca è salito dal 13 al 20 per cento; oggi solo gli Stati Uniti producono un numero magiore di lavori scientifici di alto livello. La Cina vanta la più lunga rete ferroviaria ad alta velocità, il più grande radiotelescopio e i due più veloci supercomputer del mondo. Entro quest'anno dovrebbe lanciare un mercato di permessi di emissione di gas serra che farà sembrare minuscolo quello dell'UE, oggi il più grande del pianeta. La Cina, che è anche il massimo produttore di terre rare per l'industria ad alta tecnologia, è al primo posto nel mondo per capacità solare, eolica e idroelettrica, ed è già, o diventerà presto, il mercato più forte per beni come auto elettriche, reattori nucleari, dispositivi *smart*, robot industriali e stampanti 3D.

La Cina ha ancora seri ostacoli da affrontare. Daly dice che il suo sistema di educazione superiore è «pessimo nello stimolare il pensiero creativo». Scrivendo nel 2016 su «Nature», Wei Yang, presidente della National Natural Science Foundation of China, accettava la critica «che le università cinesi sono diventate mere fabbriche di articoli in seguito a parametri di valutazione che privilegiano la quantità sulla qualità». Tuttavia la Cina continua a istituire programmi scientifici di enorme portata e a costruire infrastrutture gigantesche. Un esempio notevole è il BGI (l'ex Beijing Genomic Institute), con sede a Shenzhen, che per molti aspetti è la massima impresa di sequenziamento di geni al mondo. I suoi 5000 dipendenti, suddivisi in 47 laboratori, puntano a sequenziare il genoma del maggior numero possibile di organismi, dagli antichi ominini al riso, al panda gigante. A luglio, dopo il successo di un progetto pilota, BGI ha annunciato di avere in programma il sequenziamento di 10.000 genomi vegetali e microbici: una marea di dati che potrebbe rivoluzionare tutto il campo.

Le motivazioni della Cina per essere all'avanguardia della scienza vanno oltre il prestigio e il guadagno. Si prenda il satellite QUESS, lanciato nel 2016 nel quadro di un più ampio programma di missioni scientifiche spaziali. In orbita terrestre bassa, il sistema specializzato di laser e componenti ottici di QUESS verifica i fondamenti della meccanica quantistica. Ma il risultato più notevole, annunciato nel giugno scorso, è la prima trasmissione di fotoni *entangled* a stazioni terrestri separate da una distanza di 1200 chilometri. Una rete di satelliti del genere potrebbe costituire la base di una rete di comunicazione quantistica a prova di hacker.

Qualcuno in Occidente può vedere nella crescente potenza della Cina una minaccia geopolitica. È vero che «la Cina sta intraprendendo una serie di massicci investimenti guidati dallo Stato, che arrivano in un momento in cui gli Stati Uniti stanno perdendo la voglia di rischiare», dice Ben Shobert, del National Bureau of Asian Research di Seattle. Ma un'ascesa della Cina alimentata da ricerca e sviluppo a questo punto è inevitabile, replica Michael O'Hanlon, della Brookings Institution di Washington. «Ingenti stanziamenti in ricerca scientifica e sviluppo tecnologico sono il prossimo stadio per diventare una grande potenza», aggiunge. «Non è una fase transitoria, è una nuova realtà. Continueranno a spingersi avanti senza rallentare. Se fossi al posto loro, farei lo stesso». ■

Lee Billings, *associate editor* di «Scientific American», si occupa di spazio e di fisica.

PER APPROFONDIRE

Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, National Academies Press, 2016.

Nature Index 2017 China. Supplemento di «Nature», Vol. 545, 25 maggio 2017. **www.natureindex.com/supplements/nature-index-2017-china/index.**

Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. U.S. Global Change Research Program, Washington DC, 2017. **DOI: 10.7930/J0J964J6.**

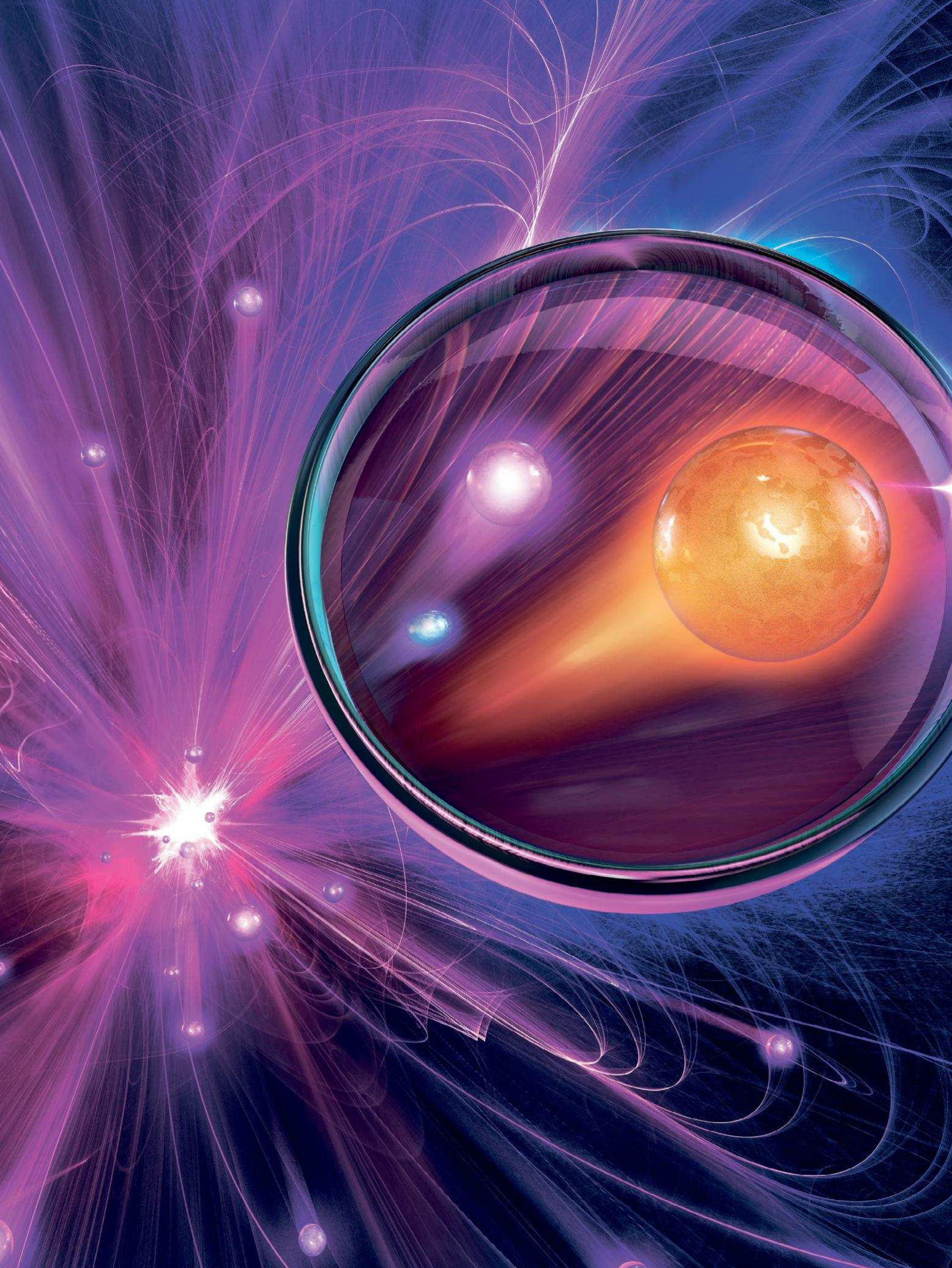
An Open Letter from Scientists to President-Elect Trump on Climate Change. Lemonick M.D., Observations blog, ScientificAmerican.com, pubblicata on line, 6 dicembre 2016.

FISICA DELLE PARTICELLE

L'enigma del neutrino

I fisici stanno allestendo l'esperimento più grande di tutti i tempi per indagare sulle particelle misteriose che potrebbero indicare nuovi fenomeni nell'universo

di Clara Moskowitz

Illustrazione di Mark Ross Studios

Clara Moskowitz è *senior editor* di «Scientific American». Si occupa di spazio e di fisica. Ha una laurea in astronomia e fisica presso la Wesleyan University e una laurea di secondo livello in giornalismo scientifico presso l'Università della California a Santa Cruz.

Mi trovo su una passerella in una caverna gigantesca, piena di attrezzature industriali, e mi dicono che ogni secondo migliaia di miliardi di neutrini attraversano ogni centimetro del mio corpo. Allungo le braccia come per rendermene conto meglio, ma naturalmente non posso sentire nulla. Queste particelle fantasma quasi prive di massa, che viaggiano vicine alla velocità della luce, sfrecciano nello spazio vuoto tra i miei atomi senza lasciare traccia. Si muovono quasi senza ostacoli anche attraverso l'enorme scatola metallica che domina la caverna. Ma alcune volte al giorno si scontrano con uno degli atomi all'interno del congegno, grande come uno scuolabus, liberando particelle cariche che lasciano tracce luminose visibili ai ricercatori. E queste tracce, sperano i fisici, condurranno in un territorio sconosciuto.

L'apparato fa parte dell'esperimento NuMI Off-Axis Electron Neutrino Appearance, o NOvA, qui al Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab) di Batavia, nell'Illinois. Un rivelatore simile ma più grande è sepolto a 800 chilometri da qui, nel Minnesota, dove cattura i neutrini che sono passati attraverso questo rivelatore e tutto il sottosuolo in mezzo. NOvA, attivo dal 2014, è l'esperimento sui neutrini che opera a maggior distanza a livello mondiale, ma sta ponendo le basi per qualcosa di ancora più grande: il Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE). DUNE inizierà al Fermilab, dove un acceleratore porterà ad alta velocità fasci di protoni e li farà schiantare contro la grafite per produrre un fascio di neutrini, che poi voleranno attraverso 1300 chilometri di Terra, dall'Illinois al South Dakota. I 500 chilometri addizionali di viaggio dovrebbero rendere più probabile che i neutrini mostrino il loro tipico comportamento strano.

DUNE è il più ambizioso esperimento di fisica delle particelle che verrà tentato sul suolo statunitense dai tempi del Superconducting Super Collider (SSC), progettato e poi mai finanziato negli anni novanta. L'inizio di questo progetto da 1,5 miliardi di dollari è previsto per gli anni venti di questo secolo e dovrebbe durare almeno vent'anni. E l'entusiasmo non viene solo dagli scienziati statunitensi: il progetto coinvolge 1000 ricercatori provenienti da 30 paesi [tra cui l'Italia, con l'Istituto nazionale di fisica nucleare, N.d.R.], e altri se ne stanno aggiungendo. Sarà il più grande esperimento al mondo sui neutrini, e sarà anche la prima volta che il maggiore laboratorio europeo di fisica delle particelle, il

IN BREVE

Tra le particelle fondamentali note, i neutrini potrebbero essere quelle di cui sappiamo di meno. Privi di carica e leggerissimi, i neutrini interagiscono raramente con altre particelle, e inizialmente era stato previsto che fossero privi di massa. Ora i fisici sanno che ne hanno un po', ma il perché rimane un mistero.

Un progetto ambizioso attualmente in costruzione negli Stati Uniti, denominato Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), invierà un fascio di neutrini per 1300 chilometri, dall'Illinois al South Dakota.

Lungo il percorso, le particelle si trasformeranno da un tipo, o «sapore», a un altro, un fenomeno noto come oscillazione dei neutrini. Studiando questo comportamento caratteristico, i fisici sperano di chiarire l'origine della massa dei neutrini e altri problemi aperti.

CERN vicino a Ginevra, investe in un progetto al di fuori del proprio continente. Nel 2012 il Large Hadron Collider (LHC) del CERN ha scoperto il celebre bosone di Higgs, rivelando la presenza di un campo invisibile che riempie il cosmo; allo stesso modo gli scienziati sperano che DUNE possa usare i neutrini per comprendere l'universo a un livello più profondo. «Vogliamo fare per i neutrini quello che LHC ha fatto per il bosone di Higgs», afferma il co-portavoce di DUNE Mark Thomson, un energico britannico dell'Università di Cambridge, che sta contribuendo a far partire l'esperimento. «Riteniamo di essere alla vigilia della prossima grande rivoluzione nella fisica delle particelle».

I neutrini alimentano queste speranze perché sono le prime particelle che si allontanano dal cosiddetto modello standard, ovvero la descrizione migliore che i fisici hanno delle particelle fondamentali della natura e delle regole che le governano. Il modello standard, che spiega il comportamento di tutte le altre particelle conosciute con precisione straordinaria, prevede che i neutrini siano privi di massa. E così la pensavano gli scienziati fino a una quindicina di anni fa, quando alcuni esperimenti effettuati in Canada e in Giappone hanno scoperto che i neutrini hanno una massa piccolissima. I neutrini però non sembrano acquisire la propria massa come le altre particelle: sembra invece che essa derivi dalla cosiddetta «nuova fisica», qualche particella, forza o fenomeno dell'universo che gli scienziati non hanno ancora scoperto.

I neutrini alimentano le speranze per una nuova fisica perché sono le prime particelle che si discostano dal modello standard

Negli ultimi anni i neutrini si sono mostrati sempre più promettenti come ponte verso il futuro perché altri tentativi di raggiungere quella frontiera non sono giunti a destinazione. Finora LHC non è riuscito a produrre particelle non previste dal modello standard, e anche gli esperimenti progettati per rilevare le particelle che compongono la materia oscura, la sostanza invisibile che domina il cosmo, sono rimasti a mani vuote. «Sappiamo che il modello standard non è completo e che qualcos'altro è all'opera, ma non sappiamo che cosa», dice Stephen Parke, fisico dei neutrini del Fermilab. «Alcune persone scommettono la loro carriera su LHC; altri, come noi, scommettono sui neutrini».

Mistero massiccio

Il giorno successivo alla mia visita a NOvA mi sono ritrovata seduta in un ufficio spoglio al terzo piano della Robert Rathbun Wilson Hall, l'edificio principale del Fermilab. Parke, che è qui insieme al teorico André de Gouvêa, della Northwestern University, spiega che per il nostro incontro ha scelto questa stanza perché una volta era l'ufficio di Leon Lederman, ex direttore ora in pensione del Fermilab, che ha sviluppato un modo per generare un fascio di neutrini con un acceleratore di particelle. Quel lavoro, il fondamento di DUNE, rivelò nel 1962 l'esistenza di uno dei tre tipi noti di neutrini e successivamente fece vincere a Lederman un premio Nobel per la fisica. Parke e de Gouvêa ammettono che, anche se le ricerche sono molto progredite dai tempi di Lederman, gli scienziati sono ancora perplessi. «Il problema dei neutrini è che più ne capiamo e più domande ci poniamo», dice Parke. «Sono particelle molto capricciose».

Parke, nativo della Nuova Zelanda, si è appassionato ai neutrini poco dopo essere arrivato negli Stati Uniti per il dottorato, negli anni settanta. Nei decenni successivi i neutrini hanno perso la loro fama di particelle noiose e prive di massa. «Ci sono state varie rivoluzioni, una dopo l'altra», racconta. «La domanda è: ci sono altre rivoluzioni in arrivo?». Lui e de Gouvêa scommettono di sì. «Abbiamo appena iniziato a misurare le proprietà dei neutrini a un livello confrontabile con le altre particelle», spiega de Gouvêa. «Non ne conosciamo le masse, potrebbero esserci nuovi tipi di neutrini, e potrebbero parlare con altre particelle che non parlano con nessun altro».

DUNE si concentrerà sulla bizzarra tendenza dei neutrini a cambiare identità, un fenomeno chiamato «oscillazione». Le tre varietà di queste particelle, i cosiddetti sapori, sono i neutrini elettronici, i neutrini muonici e i neutrini tauonici. È possibile distinguerli, perché quando interagiscono con gli atomi nei rivelatori danno prodotti finali diversi: i neutrini elettronici generano elettroni, quelli muonici producono muoni, o mesoni mu, e quelli tauonici danno origine ai tauoni, o mesoni tau (i muoni e i tauoni sono cugini più pesanti degli elettroni). Stranamente, questi tre sapori sono mutevoli: le particelle potrebbero lasciare il Fermilab come neutrini muonici e arrivare in South Dakota come neutrini elettronici, o magari come neutrini tauonici. Per quel che ne sanno i fisici, i neutrini sono le uniche particelle che subiscono questa bizzarra trasformazione dell'identità.

Quando, circa 15 anni fa, i fisici hanno scoperto la tendenza dei neutrini alla metamorfosi, è stato risolto un mistero di lunga data. Negli anni sessanta gli scienziati avevano iniziato a studiare i neutrini emessi dal Sole, osservandone soltanto un terzo della quantità prevista dalla teoria. L'oscillazione ha spiegato perché: i due terzi mancanti si trasformavano da neutrini elettronici in muonici e tauonici durante il viaggio verso la Terra, mentre gli strumenti erano predisposti per osservare solo i neutrini elettronici. Anche se questa scoperta ha risolto il problema dei neutrini solari, ha evidenziato un altro mistero: secondo la teoria, l'unico modo perché i neutrini possano cambiare sapore è che siano dotati di massa, e questo non era previsto dal modello standard.

Il motivo per cui i fisici sanno che i neutrini devono essere dotati di massa è un rompicapo che viene dalla meccanica quantistica. Affinché i neutrini possano cambiare sapore, ciascun sapore deve essere costituito da diversi «stati di massa». Stranamente, sembra che ogni sapore dei neutrini non abbia un'unica massa, ma sia invece una miscela di tre possibili masse. (Se tutto questo suona strano, prendetevela con la meccanica quantistica, che ci dice che le particelle non sono entità definite, ma nubi indeterminate di probabilità.) Quando i neutrini sfrecciano per lo spazio, le parti associate ai diversi stati di massa viaggiano a velocità leggermente diverse: è una conseguenza della relatività ristretta, che ha chiarito che la velocità di una particella che va veloce quasi come la luce dipende dalla sua massa. Si ritiene che con il passare del tempo questa differenza modifichi la miscela di masse in ciascun neutrino, facendo sì che una particella che inizialmente era, per esempio, un neutrino muonico, definito da una sua precisa miscela di masse, si trasformi nella miscela che corrisponde, per esempio, a un neutrino elettronico.

Non si sa ancora quali siano i precisi stati di massa dei neutrini, ma solo che sono di tipo diverso e maggiori di zero. Contando però quanti neutrini oscillano durante il percorso dall'Illinois al South Dakota, DUNE punta a determinare le relazioni tra le masse di neutrini diversi. La teoria fa pensare che le tre possi-

Particelle enigmatiche

I neutrini sono particelle minuscole che sfrecciano all'interno della materia quasi alla velocità della luce. Ce ne sono di tre tipi, o sapori. Stranamente, mentre si muovono nello spazio i neutrini che in origine hanno un sapore possono passare a un altro, ovvero «oscillare». Per indagare su questo curioso comportamento, nel 2020 entrerà in funzione il Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), il più ambizioso progetto relativo ai neutrini mai intrapreso. I fisici spareranno un fascio di neutrini dal Fermi National Accelerator Laboratory (Fermilab), nell'Illinois, alla Sanford Underground Research Facility, nel South Dakota, e osserveranno quanti oscilleranno da un sapore all'altro durante il percorso. Si spera che grazie allo studio di questo fenomeno i neutrini apriranno la porta a una comprensione più profonda della fisica.

L'ABC dei neutrini

I tre sapori dei neutrini – elettronico, muonico e tauonico – prendono il nome dalle particelle con cui interagiscono: elettroni, muoni e tauoni. I neutrini non sono, come invece ipotizzato in passato dagli scienziati, privi di massa. A causa delle stranezze della meccanica quantistica, i sapori non hanno masse ben definite; ogni sapore è invece una miscela unica di tre diversi «stati di massa». Il valore preciso degli stati di massa rimane un mistero.

Proprietà del neutrino

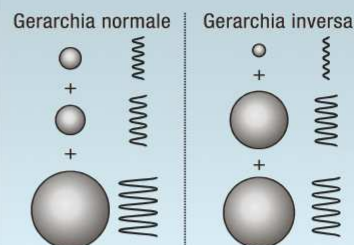
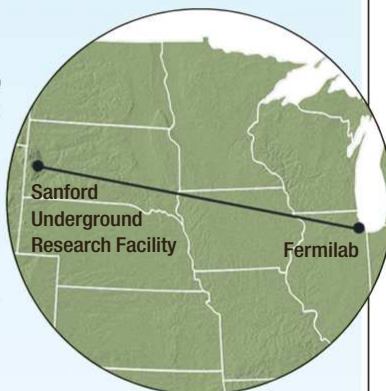
Sanford Underground Research Facility

1300 chilometri

Rivelatore remoto

Ognuno dei quattro moduli che compongono il rivelatore remoto di DUNE conterrà 17.000 tonnellate di argon liquido. Gli scienziati prevedono che ogni giorno da 10 a 20 neutrini collideranno con atomi di argon e produrranno un segnale che il rivelatore potrà identificare.

Illustrazioni di Don Foley (*schema DUNE*) e Jen Christiansen (*produzione neutrini*)

Oscillazioni di sapore e ruolo della massa
Mentre un neutrino si muove nello spazio, i diversi stati di massa da cui è composto viaggiano a velocità leggermente diverse. Nel corso del tempo questo ritardo fa sì che la miscela di stati di massa all'interno di un neutrino cambi, cosicché il suo sapore varia di conseguenza. In questo modo un neutrino che era inizialmente muonico può trasformarsi in uno tauonico o elettronico.
ν_μ
Componenti del neutrino muonico
ν_1
+
ν_2
+
ν_3
Neutrino muonico alla sorgente
Distanza percorsa
Quasi interamente tauonico
Rapporto tra i sapori
ν_t
ν_e
ν_μ
I fisici non conoscono i valori dei tre stati di massa, ma la teoria suggerisce che due siano leggeri e uno relativamente pesante (la configurazione detta gerarchia normale) o che uno sia leggero e due pesanti (la gerarchia inversa). DUNE dovrebbe essere in grado di determinare quale gerarchia è corretta.
Gerarchia normale
Gerarchia inversa
Andare lontano
DUNE invierà neutrini a una distanza di più di 1300 chilometri, dal Fermilab che si trova a Batavia, nell'Illinois, alla Sanford Underground Research Facility vicino a Lead, in South Dakota. Questo percorso, il più lungo mai realizzato per un esperimento con i neutrini sulla Terra, dovrebbe concedere un tempo sufficiente affinché i neutrini oscillino.
Sanford Underground Research Facility
Fermilab
Fascio di neutrini muonici
Rivelatore vicino
È una versione più piccola del rivelatore remoto. Gli scienziati confronteranno le misurazioni effettuate nei due impianti per stimare quanti neutrini hanno oscillato da un sapore a un altro nel corso del viaggio.
L'acceleratore di particelle genera un fascio di neutrini
Se un neutrino colpisce un atomo di argon, produce particelle come elettroni e fotoni che il rivelatore può vedere.
Percorso del fascio di neutrini
Particella carica
Fermilab (Illinois)

L’iniettore principale del Fermilab, un acceleratore di particelle sotterraneo ad anello, scaglia protoni per creare fasci di neutrini che saranno studiati dall’esperimento DUNE.

Cortesia Department of Energy e Fermilab

bili masse del neutrino abbiano un ordinamento per cui due sono molto leggere e una pesante o, viceversa, che due masse siano elevate e una piccola. La prima di queste due possibilità è nota come gerarchia normale, mentre la seconda è la gerarchia inversa. DUNE dovrebbe riuscire a distinguere tra le due situazioni perché, a quel che sappiamo, la materia all’interno della Terra ha un effetto sull’oscillazione dei neutrini; se la gerarchia normale è corretta, ci aspettiamo di osservare rapporti tra i tre sapori diversi rispetto al caso in cui valga la gerarchia inversa. «Scagliando neutrini attraverso la materia è possibile determinare facilmente la differenza, e più i neutrini sono lanciati lontano più il segnale è chiaro», dice Thomson. «È un aspetto della fisica che DUNE chiarirà nel giro di pochi anni».

L’origine della massa

Una volta chiarito l’ordinamento delle masse dei neutrini si potrà affrontare la questione più ampia di come i neutrini ottengano massa. La maggior parte delle particelle, come i quark che compongono protoni e neutroni negli atomi, acquiscono massa dall’interazione con il campo di Higgs; questo campo, che pervade tutto lo spazio, è associato al bosone di Higgs scoperto da LHC. Ma il meccanismo di Higgs funziona solo sulle particelle di cui esiste una versione sia destrorsa sia sinistrorsa, una differenza fondamentale relativa all’orientamento del loro spin rispetto alla loro direzione di movimento. Finora i neutrini sono stati osservati solo in forma sinistrorsa. Se derivano la massa dal campo di Higgs, devono esistere anche i destrorsi, che però non sono stati osservati, il che fa ritenere che, se esistono, non interagiscono con altre particelle o forze fisiche: un’ipotesi per alcuni fisici è eccessiva.

Inoltre, se il campo di Higgs agisse sui neutrini, per queste particelle i teorici si aspetterebbero masse simili alle altre particelle note, mentre sono leggeri. Qualunque cosa siano gli stati di massa, sono meno di un centomillesimo della massa dell’elettrone, che già è leggerissimo. «Pochi pensano che sia il meccanismo di Higgs a dare massa ai neutrini», dice il direttore del Fermilab Nigel Lockyer. «Probabilmente c’è un meccanismo diverso, quindi dovrebbero esserci altre particelle associate al suo verificarsi».

Una possibilità che entusiasma i fisici è che i neutrini possano essere particelle di Majorana, cioè particelle che sono le loro stesse antiparticelle. (Questo è possibile perché i neutrini non hanno carica elettrica, la proprietà che normalmente distingue una particella e la sua controparte di antimateria.) I teorici pensano che le particelle di Majorana acquiscano massa in un modo che non coinvolge il campo di Higgs, magari interagendo con un nuovo campo ancora non scoperto. L’impianto matematico di questo scenario richiede anche l’esistenza di un tipo di neutrini molto pesante, ancora da scoprire; queste particelle avrebbero fino a 1000 miliardi di volte la massa di alcune delle particelle più pesanti conosciute e in un certo senso bilancerebbero i neutrini leggeri. Per i fisici delle particelle la prospettiva di scoprire una nuova scala di masse è allettante. «Storicamente abbiamo sempre fatto progressi esplorando la natura a diverse scale», dice de Gouvêa. E se è un nuovo campo a dare massa ai neutrini, forse influenza anche altre particelle. «Se la natura sa come farlo per i neutrini, dove altro lo fa?», ipotizza Lockyer. «I fisici teorici si chiedono: è possibile che la materia oscura sia una massa di Majorana?».

DUNE non verificherà direttamente se i neutrini siano particelle di Majorana, ma misurando la gerarchia delle masse aiuterà gli scienziati a interpretare i risultati degli esperimenti diretti, in corso in Giappone, Europa, Stati Uniti e altrove. Inoltre DUNE dovrebbe contribuire a chiarire l'origine della massa del neutrino, fornendo dettagli su come i neutrini passano da una combinazione di massa all'altra durante l'oscillazione. «Vogliamo fare il miglior esperimento possibile sull'oscillazione dei neutrini – dice de Gouvêa – perché siamo certi che impareremo qualcosa sulla massa dei neutrini».

Materia contro antimateria

Sondare le stranezze di queste minuscole particelle potrebbe anche contribuire a risolvere un mistero di proporzioni cosmiche: perché l'universo è fatto di materia e non di antimateria.

I cosmologi prevedono che dopo il big bang l'una e l'altra debbano essere esistite in quantità uguali. In qualche modo, dopo che la maggior parte della materia si annichiliva con la maggior parte dell'antimateria (come avviene quando le due entrano in contatto), rimase un lieve eccesso di materia, che costituisce galassie, stelle e pianeti che vediamo oggi.

Per spiegare questa asimmetria, gli scienziati cercano un tipo di particella che si comporti in modo diverso dalla sua controparte di antimateria, e diversi indizi, tra cui spunti osservati in altri esperimenti, fanno pensare ai neutrini. DUNE cercherà i segnali della cosiddetta violazione della simmetria CP (carica/parità), cioè la prova che gli antineutrini oscillano da sapore a sapore con tassi diversi rispetto ai neutrini. Per esempio la teoria suggerisce che DUNE possa osservare i neutrini muonici di antimateria che si trasformano in neutrini elettronici a un tasso fra la metà e il doppio di quello a cui compiono questa transizione i neutrini di materia, una differenza definita «enorme» da Parke, e che potrebbe spiegare perché la materia vinse quella battaglia iniziale. La cosa bizzarra è che i neutrini potrebbero oscillare in modo diverso dagli antineutrini anche se i due si rivelassero la stessa cosa, cioè se i neutrini fossero particelle di Majorana. In questo caso l'unica caratteristica che distinguerebbe i neutrini dagli antineutrini sarebbe la chiralità, collegata alla direzione dello spin, e i neutrini di materia, sinistrorsi, potrebbero agire in modo diverso da quelli di antimateria, che sarebbero destrorsi.

Sondare le stranezze dei neutrini potrebbe aiutare a risolvere il mistero dell'asimmetria tra materia e antimateria

DUNE sarà anche in grado di determinare se esistono solo tre sapori di neutrini o se ce ne sono altri da scoprire, come suggeriscono alcune teorie. I sapori addizionali corrisponderebbero ai cosiddetti neutrini sterili, perché non interagirebbero con la materia normale. Esperimenti precedenti, fra cui il Liquid Scintillator Neutrino Detector al Los Alamos National Laboratory e il Mini Booster Neutrino Experiment (MiniBooNE) al Fermilab, hanno osservato indizi non definitivi del fatto che un altro tipo di neutrino interferirebbe con le oscillazioni, suggerendo l'esistenza di neutrini sterili più pesanti dei tre normali. [Ai Laboratori del Gran Sasso dell'INFN gli esperimenti Opera e Icarus, nell'ambito del progetto CERN Neutrinos to Gran Sasso, hanno fatto misure che hanno posto limiti e quindi ristretto lo spazio possibile per i neutrini sterili, N.d.R.] I ricercatori sperano che DUNE riesca a confermare o a escludere questa possibilità. «I neutrini sterili potranno modificare significativamente le oscillazioni che osserveremo con DUNE», afferma Thomson.

Una grande scommessa

Per affrontare questi problemi, DUNE è stato progettato in modo da raccogliere molti più dati, e a livelli di precisione molto più elevati, rispetto ai precedenti esperimenti con i neutrini. Il progetto userà un fascio di neutrini con un potenza doppia del più forte flusso ad alta energia di neutrini esistente oggi e lo scaglierà in un rivelatore oltre 100 volte più grande di ogni altro del suo genere.

Il fulcro dell'esperimento sarà il rivelatore remoto da installare alla Sanford Underground Research Facility di Lead, in South Dakota. È composto da quattro moduli di rivelatori, ognuno lungo come una piscina olimpica, ma sei volte più profondo, che saranno riempiti con 17.000 tonnellate di argon liquido. Quando un neutrino colpirà il nucleo di un atomo di argon, o nel rivelatore vicino o in quello remoto, diventerà, a seconda del sapore, un elettrone, un muone o un tauone. I muoni attraverseranno l'argon liquido in linea retta, scalzando gli elettroni dagli atomi di argon al loro passaggio e lasciando una pista di elettroni che il rivelatore potrà osservare. Se il neutrino produrrà un elettrone, invece, il processo darà origine a un fotone che genererà poi due elettroni, e poi altri fotoni e così via, in una cascata di nuove particelle. I neutrini tauonici porterebbero a mesoni tau, ma solo se il neutrino iniziale aveva energia sufficiente, perché per creare tauoni, che hanno massa maggiore di elettroni e muoni, occorre più energia. Gli scienziati del CERN inizieranno a sperimentare versioni in miniatura del rivelatore remoto di DUNE nel 2018. «Questi rivelatori sono una specie di missione spaziale, nel senso che, una volta attivati, non li si può fermare per aprirli e sistemare qualcosa», dice Joseph Lykken, vicedirettore del Fermilab. «Una volta che li hai riempiti di 17.000 tonnellate di argon liquido, è troppo difficile tirarle fuori».

Per avere successo, DUNE dovrà superare gli ostacoli politici e finanziari che in altre occasioni hanno posto fine a grandi progetti di fisica. A luglio scienziati e funzionari hanno tenuto una cerimonia inaugurale alla sede di Sanford per segnare l'inizio di uno scavo importante, che richiederà almeno tre anni. C'erano già stati scavi per SSC, che era stato progettato per essere addirittura più grande di LHC e probabilmente avrebbe scoperto il bosone di Higgs, ma è stato cancellato nel 1993 per sforamenti dei costi e cambiamenti del clima politico. «Se torniamo al passato e pensiamo a SSC, è una storia triste», commenta Lockyer. «La natura internazionale di DUNE è un enorme passo avanti». Avere impegni e finanziamenti da più di un paese dovrebbe garantire che DUNE eviti il destino di SSC. «Secondo me si farà davvero», dice Lockyer. E poi si trattiene: «Ma è possibile che non si faccia? Sì». ■

PER APPROFONDIRE

Long-Baseline Neutrino Facility (LBNF) and Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) Conceptual Design Report Volume 1: The LBNF and DUNE Projects. DUNE Collaboration. Preprint disponibile on line: **https://arxiv.org/abs/1601.05471.**

Long-Baseline Neutrino Facility (LBNF) and Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) Conceptual Design Report. Vol. 2: The Physics Program for DUNE at LBNF. DUNE Collaboration. Preprint disponibile on line: **https://arxiv.org/abs/1512.06148.**

Il sito web del Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE): **http://www.dunescience.org.**

Lampi di una nuova fisica. Hirsch M., Pas H. e Porod W., in «Le Scienze» n. 538, giugno 2013.

SVILUPPO

Il primo organo del bambino

La placenta, probabilmente la meno studiata tra tutte le parti del corpo umano, si rivela invece piena di sorprese

di Adrian Erlebacher e Susan J. Fisher

Monet Moutrie

La placenta (*a sinistra*), qui ancora attaccata a un neonato. Di solito viene espulsa subito dopo la nascita e il cordone ombelicale viene tagliato.

Adrian Erlebacher è professore al Dipartimento di medicina analitica alla School of Medicine dell'Università della California a San Francisco. Conduce studi sui topi per chiarire quali siano le proprietà dell'utero in gravidanza che permettono di tollerare immunologicamente la placenta.

Susan J. Fisher è professoressa al Dipartimento di ostetricia, ginecologia e scienze riproduttive alla School of Medicine dell'Università della California a San Francisco. Il suo laboratorio studia la formazione della placenta nella gravidanza umana e come i difetti nella placentogenesi portino a complicazioni.

Per decenni i funzionari della sanità pubblica hanno creduto che il virus Zika provocasse solo una malattia relativamente lieve. Ma dall'inizio di un'epidemia in Brasile, nel 2015, è diventato terribilmente chiaro che il virus è in grado di trasmettersi dalle donne incinte ai loro feti, con conseguenze devastanti. Zika uccide alcuni dei bambini che devono ancora nascere, e in altri causa seri danni cerebrali, per esempio teste più piccole del normale (una condizione chiamata microcefalia).

Come il virus riesca a raggiungere il feto è un mistero, perché per arrivare lì deve attraversare la placenta, un organo dalla forma simile a quella di una frittata che collega il bambino in via di sviluppo alla madre, e che riesce a bloccare la trasmissione dalla madre al bambino di altri virus strettamente imparentati trasmessi da zanzare, come quelli di dengue e febbre gialla.

Negli ultimi anni, questo e altri dilemmi hanno suscitato interesse verso nuove ricerche sulla placenta, il primo e il più grande organo a svilupparsi dopo il concepimento. La placenta è un prodotto dell'embrione, non della madre, e fra le altre cose fornisce al feto nutrienti e ossigeno ed elimina i prodotti di scarto. Però, nonostante il suo ruolo di rilievo nella gravidanza, è probabilmente l'organo meno compreso del corpo umano.

La vulnerabilità della placenta al virus Zika non è l'unico enigma. I ricercatori si sono a lungo chiesti perché il sistema immunitario di una madre non riconosca placenta e feto come geneticamente estranei, e di conseguenza non li prenda di mira e non li aggredisca. In effetti, il sistema immunitario della madre non solo tiene a freno se stesso, ma di fatto concorre all'adeguato sviluppo e al funzionamento della placenta.

Le ricerche condotte dai nostri e da altri laboratori hanno iniziato a produrre conoscenze affascinanti a proposito di queste domande. Grazie a queste scoperte stiamo capendo sempre più che certe complicanze della gravidanza – che un tempo si pensava fossero causate solo dall'organismo della madre – sono attribuibili a difetti nella placenta, o alla sua interazione con l'utero. Inoltre, sottili variazioni nella placenta potrebbero influire sulla salute di una persona più avanti nel corso della vita.

Un rapido sviluppo

Sebbene i misteri correlati alla placenta abbondino, due aspetti sono stati compresi bene: la struttura dell'organo e le fasi fondamentali del suo sviluppo. Al momento del parto, la placenta è simile a una piastra che pesa circa mezzo chilogrammo e ha due facce distinte: quella adesa alla parete dell'utero materno prima del parto, che ha l'aspetto di una spugna zuppa di sangue, e una parte che sta di fronte al bambino, contenente una serie di vasi sanguigni che attraversano il cordone ombelicale (*si veda l'illustrazione a p. 52*).

La placenta si sviluppa velocemente perché deve svolgere il lavoro degli altri organi in via di sviluppo finché non diventano del tutto funzionanti: come il fegato, metabolizza i nutrienti; come i polmoni, scambia l'ossigeno con l'anidride carbonica; come i reni, espelle i prodotti di scarto. Meno di una settimana dopo che uno spermatozoo feconda un uovo, cellule specializzate chiamate trofoblasti emergono sulla superficie dell'embrione. Il primo compito di queste cellule (che producono anche ormoni che avvertono il corpo della madre della presenza dell'embrione) è di farsi largo nella parete dell'utero. Lì i trofoblasti si dividono rapidamente, formando proiezioni che si irraggiano nell'utero. Uno strato è composto da cellule chiamate citotrofoblasti. Un altro strato di cellule fuse (chiamate sinciziotrofoblasti) diventa la superficie della placenta. Alla fine la placenta assume la forma di un disco attaccato alla parete uterina grazie a strutture ramificate.

Durante la seconda e la terza settimana successive alla fecondazione le ramificazioni iniziano a riempirsi di cellule di supporto e vasi sanguigni. Quando una donna si rende conto di essere in-

IN BREVE

La riuscita di una gravidanza dipende dal corretto sviluppo e funzionamento della placenta, un organo insolito che allo stesso tempo separa e collega una donna incinta e il suo feto.

Studi recenti suggeriscono perché il sistema immunitario materno non rigetti il bambino non ancora nato come tessuto estraneo e come certe cellule materne aiutino la placenta a formarsi e a infiltrarsi nell'utero.

Una migliore comprensione delle disfunzioni dell'interfaccia materno-fetale potrebbe spiegare pericolose complicanze della gravidanza, come nascita pretermine, ritardo di crescita intrauterino e gestosi.

Gli scienziati stanno anche cercando di capire come sia possibile che certi virus, tra cui Zika, siano capaci di penetrare la placenta, mentre altri non ci riescono.

Una placenta di cinque settimane ha già una struttura ramificata, ma è relativamente pallida, perché non è ancora irrorata dal sangue materno. La placenta nella foto viene da una gravidanza abortita; normalmente a questo stadio circonderebbe totalmente l'embrione e il suo sacco amniotico.

Joo Lee/Getty Images

cinta, la configurazione matura di queste strutture, che ora chiamiamo villi coriali, è già stata completata.

Nella corsa contro il tempo della placenta per diventare funzionale nelle fasi iniziali della gravidanza, la capacità di questo organo di reindirizzare il flusso sanguigno materno verso di sé è di primaria importanza. Il viaggio straordinario dei citotrofoblasti rende possibile questa impresa. Innanzitutto le cellule si attaccano alla superficie della parete uterina, poi migrano addirittura più in profondità. Quasi vent'anni fa uno dei nostri ricercatori (Fisher) ha scoperto che durante questo processo i citotrofoblasti si trasformano in modo da imitare le cellule che generalmente rivestono i vasi sanguigni. L'imitazione permette ai citotrofoblasti di penetrare le arterie cariche di ossigeno della madre (*si veda il box alle pp. 50-51*). Una volta entrati, i citotrofoblasti risalgono lungo il rivestimento interno di ogni vaso, sostituendosi a esso via via che procedono.

A causa degli inganni delle cellule, le arterie della madre nell'utero si espandono e perdono il loro «tono» normale, che altrimenti ridurrebbe la quantità di sangue che possono trasportare. Alla fine del primo trimestre le arterie si aprono negli spazi tra i villi coriali, veicolando le grandi quantità di sangue materno (e dunque nutrienti e ossigeno) richieste per la crescita della prole. I citotrofoblasti invadono anche le vene uterine, permettendo al sangue di scorrere dalla placenta di nuovo verso il corpo della madre, il che completa il circolo e porta via dal feto l'anidride carbonica e altri prodotti di scarto.

Il sangue dalle arterie della madre bagna la superficie della placenta, arrivando solo a un paio di strati cellulari di distanza dai vasi sanguigni della prole. Questa vicinanza massimizza lo scambio di nutrienti, gas e prodotti di scarto. Negli anni passati i ricercatori hanno anche determinato che la placenta rilascia grandi quantità di DNA fetale nel sangue materno, un fenomeno che rende possibile fare test genetici prenatali prelevando solo un campione di sangue materno. Questi test stanno rapidamente sostituendo le vecchie e più invasive procedure, come il prelievo dei villi coriali e l'amniocentesi.

Influenze ambientali

I geni del feto dirigono la maggior parte dello sviluppo della placenta, ma anche il microambiente che circonda l'organo ha un ruolo fondamentale. Le ricerche degli ultimi vent'anni hanno iniziato a rivelare quanto una gravidanza riuscita dipenda dallo scambio tra cellule materne nel tessuto uterino e le ramificazioni invasive della placenta. Le zone dove placenta e utero si incontrano, la cosiddetta interfaccia materno-fetale, ospitano diversi tipi di cellule immunitarie chiamate leucociti, che migrano in questa zona dal sangue della madre. I trofoblasti di origine fetale mantengono un dialogo costante con questi leucociti e altre cellule uterine per far sì che la placenta lavori correttamente.

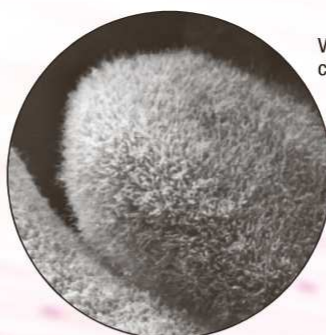
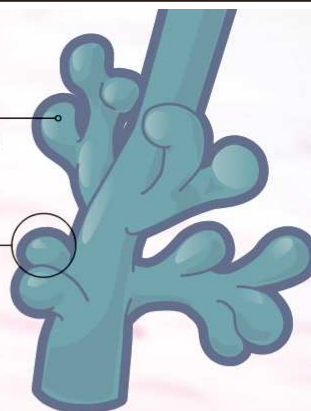
Il comportamento delle cellule immunitarie materne è sorprendente. La placenta, che è costituita per metà da geni provenienti dal padre, è intrinsecamente estranea alla madre. Questa estraneità fa sorgere un dubbio riguardo a come essa non sia rigettata dai processi immunitari che altrimenti riconoscerebbero e distruggerebbero un invasore simile, come nel caso di un comune trapianto di organo. Ora i ricercatori sanno che i cambiamenti nel sistema immunitario di una madre la aiutano a «tollerare» la placenta. Anche i processi locali che agiscono nell'utero hanno una parte. Per esempio una ricerca sui topi pubblicata nel 2012 da uno di noi (Erlebacher) ha dimostrato che i leucociti, di solito responsabili del rigetto dei trapianti d'organo, non riescono ad accumularsi nella parete uterina vicino alla placenta in espansione.

Tuttavia il corpo della madre non si limita solo a tollerare la placenta: promuove la crescita invasiva dei tessuti fetali. A partire dagli anni ottanta, per esempio, i ricercatori hanno scoperto che un certo tipo di leucocita, chiamato *natural killer*, abbonda sul lato uterino dell'interfaccia materno-fetale. Di solito queste cellule specializzate uccidono i tumori e le cellule infettate dai virus. Ma negli anni novanta ricercatori guidati da B. Anne Croy, oggi alla Queen's University di Kingston, in Ontario, contrariamente alle aspettative hanno scoperto che le cellule natural killer sostengono anche lo sviluppo della placenta: in particolare, il rimodellamento delle arterie uterine tramite i citotrofoblasti. Presumibilmente le cellule natural killer uterine producono sostanze che promuovono la perdita delle cellule materne originali che rivestono le arterie, facilitando in questo modo la successiva acquisizione di questi vasi da parte delle cellule placentali.

La gravidanza in evoluzione

Una gravidanza riuscita dipende dalle attività che si sviluppano all'interfaccia tra il corpo di una donna incinta e il suo feto, dove la placenta (un prodotto delle cellule embrionali) si incontra con la parete uterina. L'adeguato sviluppo e funzionamento di questa interazione, inclusa la trasmissione di ossigeno, nutrienti e fluidi dal sangue materno al feto (un «embrione» diventa un «feto» alla fine dell'ottava settimana dopo la fecondazione), richiede coordinazione tra le cellule della placenta, dell'utero e, come dimostrano nuove scoperte, con il sistema immunitario della madre. Normalmente il flusso di sangue materno alla placenta inizia tra le 10 e le 12 settimane dopo la fecondazione.

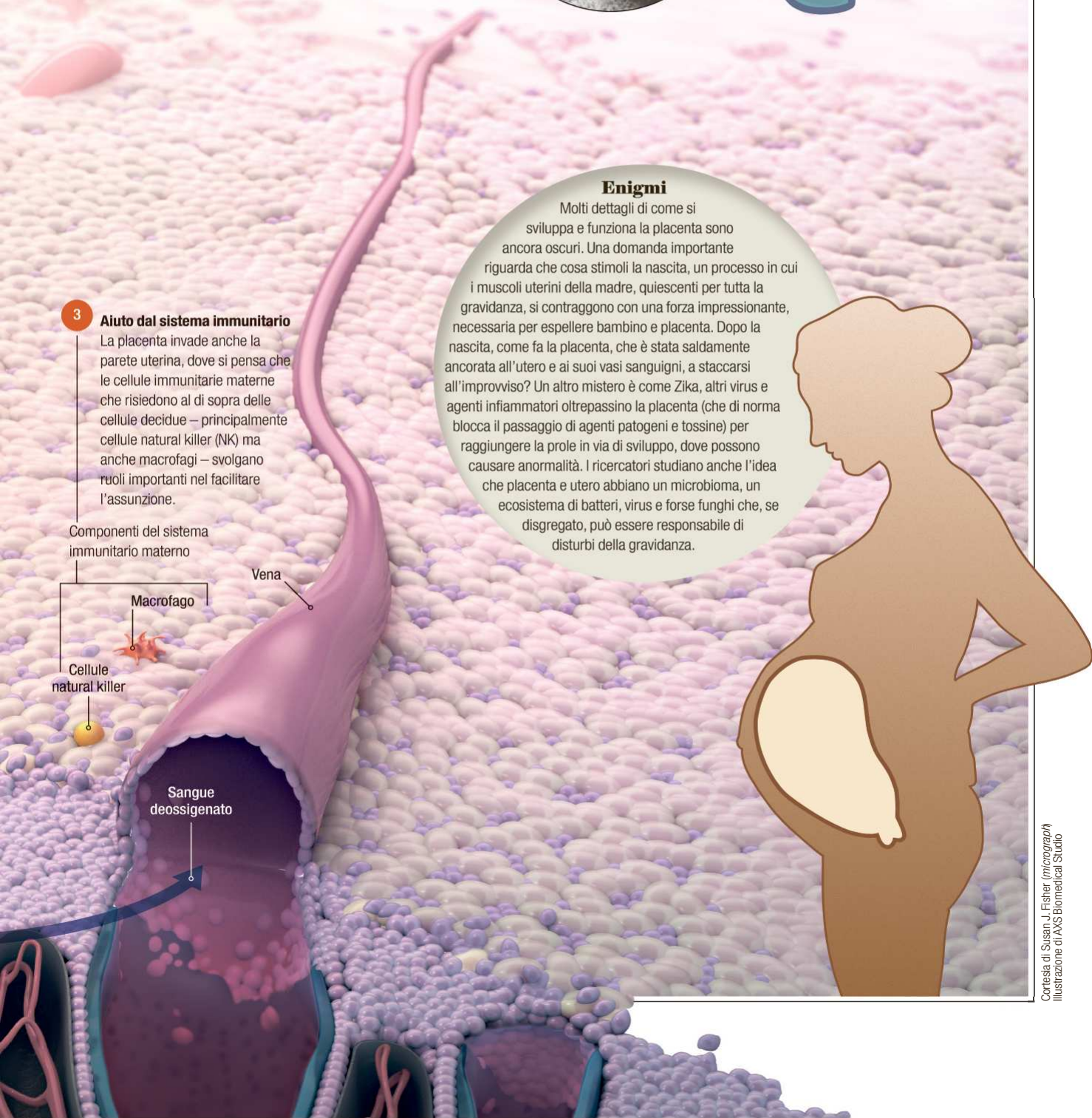
I benefici delle ramificazioni

Dimensioni e complessità dei villi coriali della placenta aumentano quanto più l'organo a forma di albero cresce e sviluppa ramificazioni. Quando le ramificazioni si formano, sono velocemente ricoperte da microramificazioni lunghe appena un decimo di micrometro, cosa che determina un enorme incremento della superficie. Solo un sottile strato di cellule placentari separa il sangue materno trasportato negli spazi tra i villi coriali dal sangue fetale nei vasi dei villi coriali. Questa disposizione massimizza lo scambio di ossigeno, nutrienti, ormoni e prodotti di scarto. Prima che il sangue inizi a scorrere verso la placenta, il feto riceve il nutrimento dai materiali secreti dalla superficie uterina.

Enigmi

Molti dettagli di come si sviluppa e funziona la placenta sono ancora oscuri. Una domanda importante riguarda che cosa stimoli la nascita, un processo in cui i muscoli uterini della madre, quiescenti per tutta la gravidanza, si contraggono con una forza impressionante, necessaria per espellere bambino e placenta. Dopo la nascita, come fa la placenta, che è stata saldamente ancorata all'utero e ai suoi vasi sanguigni, a staccarsi all'improvviso? Un altro mistero è come Zika, altri virus e agenti infiammatori oltrepassino la placenta (che di norma blocca il passaggio di agenti patogeni e tossine) per raggiungere la prole in via di sviluppo, dove possono causare anormalità. I ricercatori studiano anche l'idea che placenta e utero abbiano un microbioma, un ecosistema di batteri, virus e forse funghi che, se disgregato, può essere responsabile di disturbi della gravidanza.

3 Aiuto dal sistema immunitario

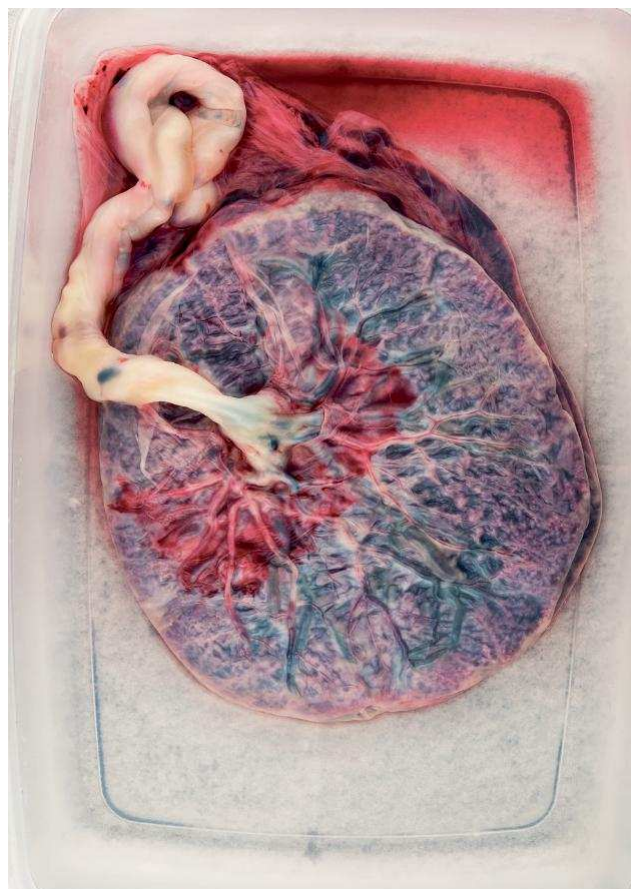
La placenta invade anche la parete uterina, dove si pensa che le cellule immunitarie materne che risiedono al di sopra delle cellule decidue – principalmente cellule natural killer (NK) ma anche macrofagi – svolgano ruoli importanti nel facilitare l'assunzione.

Cortesia di Susan J. Fisher (*micrograph*)
Illustrazione di AXS Biomedical Studio

Problemi sulla superficie

Data la rapidità frenetica dello sviluppo placentare e le numerose varietà cellulari che formano la placenta e la parete uterina, non ci si dovrebbe forse stupire che possano verificarsi errori durante la formazione dell'interfaccia materno-fetale. Questi sbagli possono causare una serie di diverse complicanze gestazionali, le più importanti delle quali sono chiamate «grandi sindromi ostetriche». Queste ultime includono nascita pretermine (il parto avviene prima della trentasettesima settimana di gravidanza), ritardo di crescita intrauterino (il bambino è più piccolo del normale), e gestosi (la madre improvvisamente sviluppa ipertensione e subisce danni vascolari).

Studi recenti sulla placenta hanno aiutato a chiarire le origini di alcune di queste disfunzioni. La gestosi, per esempio, che un tempo era nota come tossiemia: i medici credevano si sviluppasse perché c'era un rilascio di tossine nel sangue materno da parte della placenta. Sebbene i meccanismi precisi che causano la gestosi – che colpisce circa l'8 per cento delle donne che aspettano un figlio per la prima volta – siano ancora sconosciuti, i ricercatori hanno scoperto che è correlata a evidenti deformazioni strutturali nell'interfaccia materno-fetale. Gli esperti ora credono che questa condizione derivi da un'insufficiente invasione dei citotrofoblasti nelle arterie uterine durante la prima metà della gravidanza. L'insufficiente apporto di sangue limita la crescita del feto. Alla fine, la placenta cresciuta in modo anomalo libera sostanze tossiche per la madre, in particolare per il suo sistema circolatorio, tuttavia queste tossine non sono la causa principale, come invece si pensava in precedenza. Piuttosto, sembra più probabile che siano una conseguenza della malattia. Se non è curata, la gestosi può causare un danno grave o addirittura mortale sia per le madre sia per il bambino.

La vera ragione del perché la placenta non riesca a funzionare adeguatamente nei casi di gestosi è ancora un mistero. La disfunzione può emergere nei citotrofoblasti o nelle varie cellule materne, oppure può essere una combinazione di entrambi i casi. Sorprendentemente, la capacità delle cellule natural killer di individuare un tessuto estraneo potrebbe essere un fattore che contribuisce al tutto. Le ricerche effettuate da Ashley Moffett, specializzata in immunologia riproduttiva all'Università di Cambridge, suggeriscono che se la placenta e la madre sono troppo simili dal punto di vista immunologico, le cellule natural killer potrebbero non essere in grado di contribuire appieno alla sostituzione delle cellule materne che rivestono l'interno delle arterie uterine con le cellule della placenta.

Un'altra delle grandi sindromi ostetriche – la nascita pretermine – ha di recente suscitato preoccupazione a causa del suo incremento in tutto il mondo. Secondo i Centers for Disease Control and Prevention (CDC), ora negli Stati Uniti questo disturbo colpisce circa una gravidanza ogni dieci. Sebbene un'infezione intrauterina possa stimolare un parto prematuro, molte nascite pretermine non hanno un'origine chiara. In effetti, gli scienziati non riescono ancora a capire cos'è che stimola un parto normale alla fine della gravidanza, uno dei principali misteri irrisolti della biologia umana. Presumibilmente c'è un «orologio» che fa il conto alla rovescia dei 280 giorni di gestazione umana. Sappiamo che, quando scatta, l'allarme dà il via a una reazione infiammatoria a catena nell'utero che è probabilmente la causa principale della contrazione uterina e del parto. Ma dov'è l'orologio che batte il tempo? Si trova nel feto, nella placenta o nell'utero? È facile immaginare che uno sviluppo errato della placenta nel primo periodo della gestazione potrebbe inceppare il lavoro interno di un orologio biologico della nascita, tuttavia questa idea rimane pura speculazione.

Questo lato della placenta, mostrato dopo la nascita con il cordone ombelicale, era collocato di fronte al bambino durante la gravidanza. L'altro lato, che somiglia a una spugna zuppa di sangue, era attaccato alla parete uterina della madre.

Norm Barker

I segnali e i meccanismi alla base delle grandi sindromi ostetriche si sovrappongono. Un'invasione superficiale di citotrofoblasti, che è costantemente associata alla gestosi, per esempio, è anche una caratteristica del ritardo di crescita intrauterino e di alcuni casi di nascita pretermine. Capire meglio come i problemi a livello di interfaccia materno-fetale possano diventare complicanze molto diverse potrebbe suggerire modalità di intervento più efficaci.

Imprinting duraturi

Queste gravi irregolarità gestazionali hanno evidenti ripercussioni nocive sui neonati, che vanno da condizioni trattabili per cui è richiesto il ricovero nel reparto di cura intensiva neonatale, fino a danni neurologici permanenti. Tuttavia gli effetti dannosi di un ambiente inadeguato alla crescita del feto non si limitano all'infanzia; possono manifestarsi decenni più tardi sotto forma di malattia negli adulti, e vi è ragione di credere che i difetti nel funzionamento della placenta svolgano un ruolo fondamentale anche qui.

L'idea che problematiche nel grembo materno possano incidere sulla salute futura è chiamata «ipotesi dell'origine fetale». Fu proposta per la prima volta negli anni ottanta dall'epidemiolo-

go britannico David Barker per cercare di spiegare l'alta incidenza di malattie cardiovascolari e diabete nelle aree povere dell'Inghilterra. Barker notò come vi fosse una probabilità maggiore che gli adulti con queste malattie croniche fossero nati sottopeso, e questo probabilmente rifletteva condizioni nutrizionali non ottimali. Alcuni ricercatori pensano che la denutrizione e una funzionalità placentale difettosa possano modificare il modo in cui i geni del bambino dirigono lo sviluppo durante la gravidanza, ma i meccanismi alla base di questo processo sono ancora sconosciuti. Anche le prove epidemiologiche indicano in modo netto che i bambini nati da donne che contraggono alcune infezioni durante la gravidanza– come il virus dell'influenza – hanno un rischio maggiore di sviluppare disturbi dello sviluppo neurologico e psichiatrici, compresi autismo, disturbo bipolare e schizofrenia.

Uno studio sui topi pubblicato nel 2016 dagli immunologi Dan R. Littman dell'Università di New York e Jun R. Huh della Medical School dell'Università del Massachusetts suggerisce che un'influenza può cambiare lievemente il corso dello sviluppo cerebrale in un modo che diventa evidente anni o decenni più tardi. Gli scienziati sapevano già che agenti che imitano i virus che causano infiammazioni sistematiche in femmine di topo gravide causano anche comportamenti simili all'autismo nella prole. Littman, Huh e colleghi hanno dimostrato che l'interleuchina-17 (IL-17) è l'agente che induce l'infiammazione e che è prodotta dalle cellule immunitarie della madre. Usando sofisticate tecniche di imaging, il gruppo ha dimostrato che la proteina era direttamente responsabile dei lievi cambiamenti strutturali nei cervelli dei topi malati.

Ma come fa l'IL-17 materna ad attraversare la placenta per raggiungere il cervello del feto quando molte altre molecole della stessa grandezza o quasi non riescono ad arrivarci? Una possibilità è che per qualche ragione la placenta trasporti attivamente l'IL-17 dal sangue materno al sistema circolatorio fetale, permettendo a questa molecola di arrivare al cervello. Un'altra affascinante possibilità è che alcune cellule della madre che producono autonomamente l'IL-17 attraversino la placenta per arrivare al feto.

La riuscita di una gravidanza si basa sugli scambi tra le cellule materne nel tessuto uterino e le ramificazioni invasive della placenta

Attraversare la barriera

La pandemia di Zika è una prova visiva del danno che si può generare quando un virus che infetta la madre impara come attraversare la placenta. Al momento, però, i ricercatori hanno più domande che risposte su come lo Zika riesca a causare i problemi di salute che sono sorti nei bambini colpiti.

Dato che solo di recente i ricercatori hanno associato le infezioni del virus Zika durante la gravidanza ai problemi nei nascituri, non sorprende che si sappia assai poco di come questo virus raggiunga il feto. Addirittura la percentuale di difetti alla nascita non è chiara, e sembra variare di luogo in luogo. In uno studio effettuato negli Stati Uniti e pubblicato lo scorso gennaio su «JAMA», i ricercatori dei dipartimenti di salute pubblica e dei CDC hanno trovato difetti alla nascita solo nel 6 per cento dei feti o nei bambini nati da madri potenzialmente infette dallo Zika. Uno studio brasiliano pubblicato a settembre sul «New England Journal of Medicine», tuttavia, suggeriva che quasi la metà dei feti infetti poteva avere qualche forma di danno. Inoltre, alcuni bambini brasiliani inizialmente considerati sani hanno poi sviluppato problemi neurologici. Dato che gli effetti più dannosi di Zika – in particolare la microcefalia – sembrano essere molto più comuni in Brasile che altrove, alcuni ricercatori hanno ipotizzato che qualche prodotto chimico nell'ambiente brasiliano possa indebolire la placenta e renderla più accessibile a questo virus. In alternativa, la causa potrebbe essere un'infezione contemporanea con un altro microrganismo prevalente in Brasile.

Un altro elemento in discussione è come il virus Zika riesca a raggiungere il feto. Scava attraverso la placenta dal lato materno infettando ogni tipo di cellula lungo il suo percorso oppure è trasportato da particolari cellule, come le cellule immunitarie materne? In alternativa, sappiamo che certi agenti patogeni possono risalire lungo la vagina fino all'utero, conquistandosi così l'accesso ai tessuti fetali. In qualsiasi modo il virus Zika raggiunga i tessuti del feto, una volta arrivato sviluppa un solido punto di appoggio: i patologi molecolari dei CDC hanno segnalato che il virus Zika può resistere nella placenta per mesi, e può continuare a replicarsi nel cervello di un neonato anche dopo la nascita.

Ovviamente Zika non è l'unico agente patogeno che riesce ad attraversare la placenta e a danneggiare il feto. Ogni anno in tutto il mondo nascono circa 100.000 bambini affetti da rosolia congenita, che può causare sordità, anomalie oculari, malattie cardiache e altri gravi problemi. Malaria, herpes ed Ebola possono tutti causare danni letali durante la gravidanza. Le modalità precise con cui invadono il feto devono ancora essere scoperte. Tuttavia sembra probabile che alcuni agenti patogeni siano più capaci di altri di infettare i trofoblasti della placenta, in particolare all'inizio della gestazione. Probabilmente a volte anche i meccanismi di difesa immunitaria all'interfaccia materno-fetale sono guardiani mediocri, dato che il rivestimento dell'utero assolve a due lavori intrinsecamente contraddittori. Da un lato, infatti, deve proteggere il feto e la placenta dalle infezioni. Dall'altro, come abbiamo accennato prima, deve impedire che le risposte immunitarie della madre diventino così forti da danneggiare la placenta.

Con così tanto ancora da scoprire su placenta e gravidanza, tre anni fa l'Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development ha varato lo Human Placenta Project, che mira a capire questo organo enigmatico che «influisce non solo sulla salute di una donna e del feto durante la gravidanza, ma anche sulla salute di entrambi per tutta la vita». Insieme agli sforzi per curare HIV, cancro e disturbi cardiovascolari, nei programmi di ricerca sulla salute si dovrebbe dare priorità agli studi sulla placenta. ■

PER APPROFONDIRE

The «Great Obstetrical Syndromes» Are Associated with Disorders of Deep Placentation. Brosens I. e altri, in «American Journal of Obstetrics and Gynecology», Vol. 204, n. 3, pp. 193-201, marzo 2011.

Immunology of the Maternal-Fetal Interface. Erlebacher A., in «Annual Review of Immunology», Vol. 31, pp. 387-411, 2013.

Uterine NK Cells: Active Regulators at the Maternal-Fetal Interface. Moffett A. e Colucci F., in «Journal of Clinical Investigation», Vol. 124, n. 5, pp. 1872-1879, 1° maggio 2014.

Placenta: The Forgotten Organ. Maltepe E. e Fisher S.J., in «Annual Review of Cell and Developmental Biology», Vol. 31, pp. 523–552, 2015.

La placenta. Beaconsfield P., in «Le Scienze» n. 146, ottobre 1980.

SALUTE PUBBLICA

NEL PAESE DELLE PISTOLE

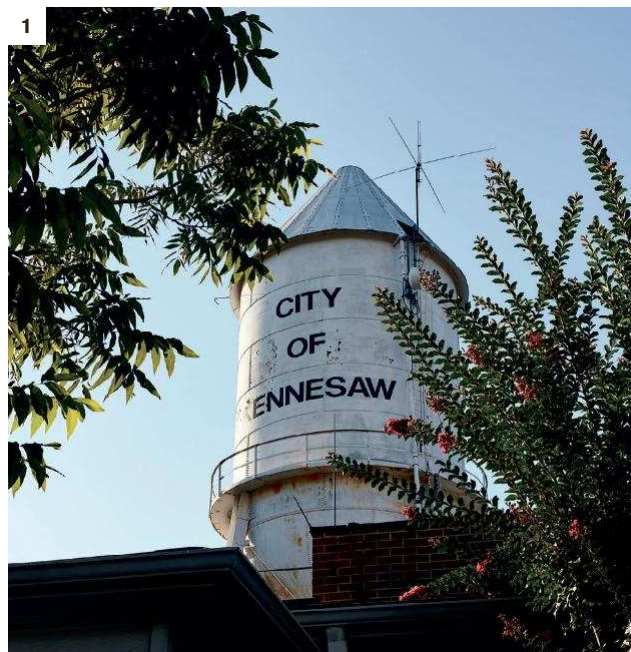
Fotografie di Ben Rollins

Dati alla mano, avere più armi da fuoco non rende le persone più sicure. Ma allora perché negli Stati Uniti in tanti credono il contrario?

di Melinda Wenner Moyer

Dopo aver premuto il grilletto ed essermi ripresa dal rinculo, lentamente ho rimesso a fuoco il bersaglio. Ed eccolo là, un cerchio, piccolo ma ben distinto, accanto all'occhio dello zombie: il primo buco di pallottola della mia vita. Ho abbassato lo sguardo sulla Glock 19 nelle mie mani tremanti. In pochi secondi sono stata travolta da una rapida e fortissima trasformazione emotiva, passando da un grande nervosismo, se non paura, a un senso inebriante di sicurezza da ogni attacco. È in quel momento che ho capito come mai milioni di statunitensi credono che avere un'arma garantisca la loro sicurezza.

Melinda Wenner Moyer, scrittrice, ha vinto un premio giornalistico per l'articolo *La fabbrica dei superbatteri*, pubblicato su «Le Scienze» di febbraio 2017.

1

Il paese delle pistole. A Kennesaw, vicino ad Atlanta, in Georgia, c'è una norma che obbliga i cittadini a possedere armi da fuoco (*1*). Esercitazioni di tiro al bersaglio al Governors Gun Club, fuori dalla cittadina (*2*).

Ero in un poligono di tiro a sud di Kennesaw, in Georgia, un posto noto negli Stati Uniti come «la città delle pistole» a causa di una norma che obbliga i residenti a possedere armi da fuoco. Era il secondo dei quattro giorni che ho dedicato a un'inchiesta riguardo a un'affermazione controversa e popolare diffusa dalla lobby delle armi: più armi da fuoco proteggono più persone dal crimine.

Nel 2015 le armi da fuoco hanno stroncato oltre 36.000 vite negli Stati Uniti; questo e altri allarmanti dati statistici hanno portato molte persone a chiedersi se non staremmo meglio con meno armi. Ma i favorevoli alla loro diffusione sostengono l'opposto: omicidi, delitti e stragi avvengono proprio perché non ci sono in giro abbastanza armi. Armare più gente significa rendere gli Stati Uniti più sicuri e pacifici, dicono, perché se i criminali sapessero di essere circondati da brave persone armate se ne starebbero buoni.

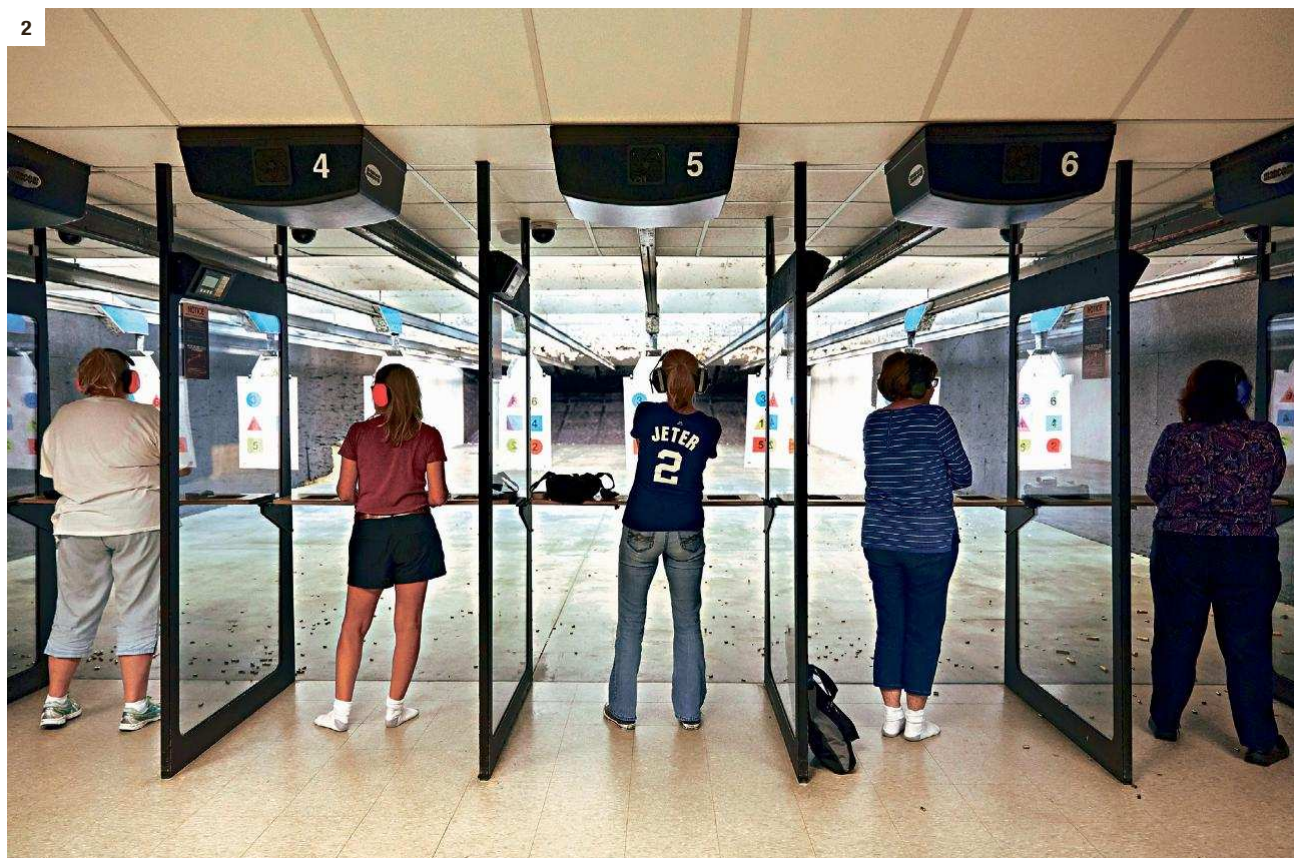
Dal 1991 a oggi, gli statunitensi hanno acquistato circa 170 milioni di armi da fuoco, mentre il tasso di omicidi è precipitato, secondo la National Rifle Association (NRA) [la principale organizzazione statunitense favorevole alla diffusione delle armi, N.d.T]. In campagna elettorale, parlando della strage di San Bernardino, in California, del 2015, Donald Trump ha detto: «Se in California avessimo avuto armi dall'altra parte, con pallottole che andavano nell'altra direzione, non avremmo 14 o 15 morti». Mike Watkins, ex poliziotto oggi istruttore al poligono di Kennesaw, la mette così: «Se sono uno dei cattivi, e so che qui ci sono armi, non sarà questo il primo posto in cui voglio fare qualcosa di brutto».

C'è del vero in questo? L'esperimento ideale sarebbe uno studio in cui seguire che cosa succede per diversi anni dopo aver distribuito armi da fuoco in comunità che ne erano prive, lasciando invariate tutte le altre condizioni. Purtroppo però negli Stati Uniti non ci sono comunità senza armi, e l'aspetto etico di uno studio del genere sarebbe dubbio. I ricercatori, quindi, confrontano ciò che accade a persone armate, in zone piene di armi, con ciò che accade a persone e luoghi con meno armi. Inoltre studiano se è più o meno probabile che le vittime dei delitti possiedano armi rispetto agli altri, e vedono che cosa succede quando le leggi rendono più facile andare in giro armati o sparare per autodifesa.

IN BREVE

Molti negli Stati Uniti sostengono che possedere armi impedisce i crimini, e da questa convinzione nascono leggi che ne rendono facile il possesso.

Almeno una trentina di studi accurati mostrano però che c'è un legame di proporzionalità tra numero di armi da fuoco e numero di delitti: omicidi, stupri e altro. Le ricerche che mostrano l'utilità delle armi sono assai meno numerose.

Parlando con gli abitanti di cittadine in cui il possesso di armi è molto diffuso si nota che sono meno convinti che le armi proteggano dal crimine rispetto a quanto afferma la lobby delle armi.

La maggior parte di queste ricerche – e ci sono decine di studi *peer reviewed* – sgonfia l'idea che le armi fermino la violenza. In uno studio del 2015 su dati di FBI e dei Centers for Disease Control and Prevention (CDC), per esempio, ricercatori del Boston Children's Hospital e della Harvard University hanno riferito che le aggressioni con armi da fuoco erano 6,8 volte più comuni negli Stati con più armi in assoluto che in quelli con meno armi di tutti. Sempre nel 2015, un'analisi combinata di 15 studi ha trovato che le persone che hanno un'arma da fuoco in casa hanno una probabilità quasi doppia di morire assassinate rispetto a chi non le ha.

L'accumulo di prove è stato rallentato dalle restrizioni poste dal Congresso degli Stati Uniti a una delle massime fonti di finanziamento delle ricerche sul tema, i CDC. Dalla metà degli anni novanta, all'agenzia è stato praticamente impedito di finanziare ricerche sulla relazione tra armi e violenza. La NRA e molti proprietari di armi hanno enfatizzato i pochi studi con indicazioni opposte.

Sono cresciuta in Georgia, così ho deciso di fare un giro lì e in Alabama, dove l'idea che le armi salvano vite della brava gente è incorporata nel tessuto della vita quotidiana; volevo guardare ai lavori scientifici e ascoltare persone con esperienza specifica: poliziotti, eletti a cariche pubbliche, possessori di armi, ricercatori che si occupano di ferite e lesioni, ed esperti d'armi come Watkins, che avevo accanto mentre premevo il grilletto della Glock.

Logica fallace

Per cercare di capire il rapporto tra armi da fuoco e violenza, Kennesaw è un punto di partenza ovvio. Il 15 marzo 1982, in questa cittadina a 45 chilometri a nord di Atlanta, fu approvata una norma controversa: per «provvedere a proteggere l'incolumità, la sicurezza e il generale benessere della città e dei suoi abitanti» Kennesaw richiedeva che ogni capo famiglia possedesse un'arma da fuoco con le relative munizioni.

Quasi 35 anni dopo l'approvazione di quella norma, a Kennesaw ho percorso in auto Cherokee Street fino alla sede della polizia dove lavora la squadra investigativa; il dipartimento vero e proprio è a qualche centinaio di metri. Ho suonato al citofono e un secondo dopo mi ha fatto entrare un tipo grande e grosso con baffi e barbetta, che chiaramente mi stava aspettando. Era il tenente Craig Graydon, l'uomo che ero venuta a incontrare.

Graydon è a capo della divisione indagini criminali e tiene traccia di tutte le statistiche sui crimini della cittadina. Mi ha condotto sul retro, nel suo ufficio buio; dal computer, il bagliore di un salvaschermo tratto da una vecchia serie TV, *The Untouchables*, con Robert Stack nei panni dell'agente federale Eliot Ness. Anche il padre e il nonno di Graydon erano tutori della legge. «Ho sempre avuto intorno armi di tutti i tipi, da che mi ricordo», dice.

Kennesaw è orgogliosa della sua legge sulle armi. «I carcerati della zona dicono: "A rubare nelle case a Kennesaw non ci andrei"», afferma Graydon. Le autorità cittadine sostengono con orgoglio che un anno dopo l'adozione della norma i furti con scasso erano diminuiti di oltre il 50 per cento; nel 1985 erano scesi dell'80 per cento. «Era un vanto per la città», secondo David McDowall, criminologo della State University of New York ad Albany. L'attenzione dedicata a questa ordinanza dai media probabilmente aiuta: non solo gli abitanti di Kennesaw sono armati, ma tutti sanno che lo sono. Detto questo, l'ordinanza non è mai stata applicata rigorosamente, e Graydon stima che solo una metà degli abitanti di Kennesaw oggi possieda armi da fuoco.

Se però a Kennesaw il numero dei furti con scasso è calato drasticamente dopo il 1981, questa statistica può essere fuorviante.

McDowall ha esaminato i numeri più da vicino e ha notato che il 1981 era stato un anno anomalo: c'era stato un 75 per cento in più di furti con scasso rispetto alla media dei cinque anni precedenti. Non sorprende che gli anni seguenti facciano bella figura. McDowall ha studiato il numero di furti con scasso prima e dopo, usando come punto di partenza il 1978, il 1979 o il 1980, invece del 1981 e, come riferito in un articolo del 1989, il presunto crollo dei crimini è sparito. A Kennesaw, poi, i crimini sono sempre stati pochissimi, il che potrebbe avere a che fare più con i suoi abitanti e la sua posizione geografica che con il numero delle pistole.

Ma a Kennesaw – che ha tutta l'aria di essere una tipica cittadina suburbana, non un covo di pistoleri – la mia sensazione è stata che per molte persone i dati non contano, proprio come in altri posti in cui sono stata. Conta di più una logica apparente: le armi fermano i criminali, quindi tengono le persone al sicuro. La sera prima dell'incontro con Graydon ero stata alla conferenza di un avvocato sostenitore del secondo emendamento della Costituzione degli Stati Uniti, quello sul diritto a portare armi, a Stone Mountain, non lontano da Kennesaw. A un certo punto l'avvocato ha menzionato Samuel Colt, che rese popolari le pistole a tamburo verso la metà del XIX secolo. «Non ho visto le statistiche, ma devo dare per scontato che i casi di stupro e rapina a mano armata siano precipitati quando queste pistole si sono largamente diffuse», ha detto. Numeri e statistiche, insomma, sono quasi inutili: dove ci sono più armi ci sono meno crimini, lo sanno tutti.

Ma che cosa dice la ricerca? La serie di studi di gran lunga più nota sull'argomento è stata effettuata tra la fine degli anni ottanta e gli anni novanta da Arthur Kellermann, oggi preside della F. Edward Hébert School of Medicine dell'Uniformed Services University of the Health Sciences. In uno, pubblicato nel 1993 sul «New England Journal of Medicine» e finanziato dai CDC, Kellermann e colleghi hanno identificato 444 persone uccise in casa tra il 1987 e il 1992 in tre contee degli Stati Uniti – Shelby, in Tennessee, King, nello Stato di Washington, e Cuyahoga, in Ohio – e poi hanno raccolto dettagli sulle vittime e la loro morte presso polizia locale, medici legali e conoscenti. Hanno trovato che un'arma da fuoco in casa era associata a un aumento di quasi tre volte della probabilità di essere uccisi in casa da familiari o conoscenti intimi.

Queste osservazioni contraddicono direttamente la logica che sentivo in Georgia, e può darsi che questo dipenda dal fatto che il comportamento umano è assai più caotico di quanto non preveda la semplice logica. I ricercatori ipotizzano che anche se avere in casa un'arma può effettivamente ostacolare una rapina casuale, può anche modificare il comportamento del proprietario in modi che mettono a rischio lui e la sua famiglia. «Avere una pistola può significare che uno fa cose che farebbe meglio a non fare, prende rischi che non dovrebbe prendere e va in posti non sicuri sentendosi invece al sicuro», dice David Hemenway, direttore dell'Injury Control Research Center di Harvard. Questi rischi aggiuntivi potrebbero superare qualunque effetto protettivo.

C'è anche il fatto che dove ci sono più armi ci sono più opportunità che qualcuno le rubi e le usi per scopi nefasti. Uno dei massimi problemi di delinquenza di Kennesaw, mi ha detto Graydon, è il furto di armi da fuoco, quindi la polizia locale incoraggia gli abitanti a tenerle sotto chiave. La NRA, d'altronde, si oppone a ogni normativa che imponga di tenere al sicuro le armi.

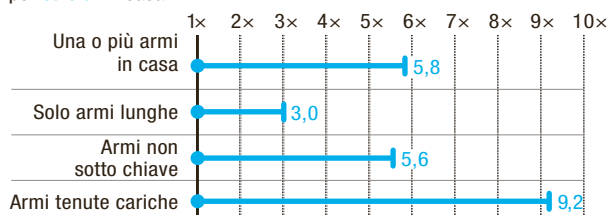
Il lavoro iniziale di Kellermann e colleghi è stato criticato per non aver usato un controllo statistico sufficiente. Ma i ricercatori hanno pubblicato altri studi che confermano il rapporto tra armi e violenza. In uno hanno trovato che il fatto di avere un'arma in

COLLEGAMENTI

Un'arma in casa non dà sicurezza

Una convinzione comune è che avere un'arma in casa protegga chi ci vive dai crimini. Stando a diversi studi che risalgono agli anni ottanta e novanta e sono sostenuti da lavori più recenti, non è così. Più volte è emerso un collegamento tra avere armi in casa e rischi maggiori per omicidi e suicidi.

Studio di alto impatto

Alla fine degli anni ottanta e nei primi novanta, Arthur Kellermann, oggi all'Uniformed Services University of Health Sciences, e colleghi hanno pubblicato diversi studi che suggeriscono che omicidi e suicidi siano più comuni fra coloro che hanno armi in casa. I rischi erano espressi come rapporti incrociati (*odds ratio*): valori maggiori di 1 indicavano che c'erano più vittime tra chi aveva armi in casa rispetto a chi non ne aveva. I valori presentati indicavano un aumento del rischio. Per esempio, per le case in cui c'erano armi per autodifesa, il valore di 1,7 indicava un rischio del 70 per cento in più di essere assassinati in casa.

Studio di conferma

Nel 2003 Douglas Wiebe, ora all'Università della Pennsylvania, e colleghi hanno effettuato uno studio analogo confrontando il possesso di armi fra 3679 vittime di omicidio o suicidio e 21.619 non vittime dalle caratteristiche simili. I ricercatori hanno potuto raccogliere più informazioni su ogni soggetto, correggendo così i fattori di rischio in modo considerare con precisione altre variabili.

I risultati confermano la conclusione ottenuta da Kellermann: le armi in casa sono legate a maggiori rischi di omicidio e suicidio, rispettivamente 41 per cento e 244 per cento in più rispetto a chi vive in abitazioni in cui non ci sono armi.

Grafica di Jen Christiansen

Convinzioni contro dati: Craig Graydon, della polizia di Kennesaw, dice che nella sua città i criminali avrebbero paura di introdursi nelle case, ma dall'analisi dei tassi di criminalità non risulta una diminuzione legata alla legge sulle armi da fuoco.

Fonti: Kellermann A. e altri. *Guns Ownership as a Risk Factor for Omicide in the Home*, in «New England Journal of Medicine», Vol. 329, n. 15, 7 ottobre 1993; Kellermann A. e altri. *Suicide in the Home in Relation to Gun Ownership*, in «New England Journal of Medicine», Vol. 327, n. 7, 13 agosto 1992; Wiebe D.J. *Homicide and Suicide Risk Associated with Firearms in the Home: a National Case-Control Study*, in «Annals of Emergency Medicine», Vol. 41, n. 6, giugno 2003.

casa era legato a un aumento di quasi cinque volte delle probabilità di suicidio. Ogni anno il numero di statunitensi che si suicida con armi da fuoco è più elevato di quelli uccisi con queste armi. In un altro studio del 1998 Kellermann e colleghi riferivano che le armi tenute in casa avevano una probabilità quattro volte più grande di colpire qualcuno accidentalmente, sette volte più grande di essere usate in aggressioni o in omicidi e 11 volte più grande di essere usate per un suicidio rispetto all'uso per autodifesa.

A questi studi sono stati dedicati titoli su «New York Times» e «Washington Post». E hanno destato le ire della lobby delle armi, che contro la ricerca su questi temi ha scatenato una guerra che continua ancora oggi.

Rischio maggiore di morte

Un veterano di questa guerra è Mark Rosenberg, ricercatore in traumatologia. Dopo aver lasciato il Dipartimento di polizia di Kennesaw mi sono recata nella zona di Atlanta, in cui vive Rosenberg; incidentalmente dista solo 25 chilometri da dove vivevo da bambina, e il ricercatore mi ha ricevuto in soggiorno. Alla fine degli anni novanta Rosenberg dirigeva il National Center for Injury Prevention and Control dei CDC, che allora finanziava ed effettuava studi sulla violenza legata alle armi da fuoco. Mi ha detto di essere stato licenziato nel 1999 per aver proseguito queste ricerche malgrado l'opposizione politica incontrata, anche se il suo capo dell'epoca, da me contattato, ha negato che il suo licenziamento fosse dovuto alla sua attività di ricerca sulle armi.

Ho chiesto a Rosenberg che cosa sia successo dopo l'uscita degli studi di Kellermann. «La NRA ci attaccò su più fronti», racconta. «Dissero che i CDC erano un pozzo nero di scienza-spazzatura». Poco dopo la pubblicazione degli studi di Kellermann la NRA, in un articolo sulla sua rivista ufficiale «The American Rifleman», invitò i lettori a protestare contro l'uso del denaro dei contribuenti «per effettuare studi pseudoscientifici contro le armi da fuoco mascherati da ricerche». L'associazione chiese poi all'Office of Scientific Integrity dei National Institutes of Health (NIH) di aprire un'inchiesta su Kellermann e colleghi, ma fu respinta. Todd Adkins, attuale direttore del settore ricerca e informazione dell'Institute for Legislative Action della NRA, mi ha detto per e-mail che quella fu una reazione al fatto che gli scienziati dei CDC avevano lanciato una campagna per convincere gli statunitensi che le armi da fuoco sono una minaccia alla salute pubblica e ignoravano i dati che non sostenevano questa idea.

Mentre la disputa proseguiva, il parlamentare Jay Dickey introdusse nella legge di spesa per i CDC per il 1996 una clausola che vietava l'impiego dei fondi per sostenere o promuovere il controllo delle armi da fuoco. Il Congresso tagliò anche 2,6 di milioni di dollari dal budget per i CDC: proprio l'importo stanziato l'anno prima per la ricerca sulle armi da fuoco. In seguito questi fondi sono stati ripristinati, ma destinati alla ricerca sulle lesioni cerebrali traumatiche. «Fu un colpo di avvertimento: "Vi teniamo d'occhio"», ricorda Hemenway. «I CDC riconobbero che avrebbero fatto meglio a essere molto, molto, molto prudenti sulle armi da fuoco, se volevano avere un centro traumatologico».

La clausola di Dickey sulla legge di spesa per i CDC è stata rinnovata ogni anno, fino a oggi. Nel 2011, anzi, è stata riformulata per includervi tutte le agenzie del Department of Health and Human Services, compresi gli NIH. Dickey però ha poi detto che non intendeva bloccare tutta le ricerca sulle armi e che avrebbe voluto non averlo fatto. È morto lo scorso aprile.

I CDC hanno ancora le mani legate. Nel 2012, dopo la sparatoria in una scuola che è costata la vita a 20 bambini e sei adulti a Newtown, in Connecticut, il presidente Barack Obama ha firmato un ordine esecutivo che richiedeva che i CDC destinassero 10 milioni di dollari alla ricerca sulla violenza da armi. Ma il Congresso non ha stanziato i fondi. Secondo Linda DeGutis, che ha diretto il centro traumatologico dei CDC dal 2010 al 2014, al personale dell'agenzia non è stato neppure permesso di discutere di Newtown. «Non potevamo parlare con i media se non per il contesto. Non potevamo rilasciare nessuna dichiarazione virgolettata», ricorda. «C'erano membri dello staff che evitavano addirittura di pronunciare la parola "arma".» Gli attuali dipendenti non hanno accettato di essere intervistati per questo articolo.

Garen Wintermute, medico e noto ricercatore su armi e violenza dell'Università della California a Davis, non è sorpreso che sia andata così. «È come in ogni altro campo controverso, quando si fa un lavoro che minaccia gli interessi costituiti. Quegli interessi reagiscono per minimizzare la minaccia», dice. Una volta lasciati i CDC, Rosenberg è diventato amministratore delegato di un'organizzazione no-profit che lavora per migliorare la situazione sanitaria dei paesi in via di sviluppo, e poi l'anno scorso è andato in pensione. Ma Wintermute e altri sono andati avanti nella ricer-

ca sulle armi, procurandosi sovvenzioni da fondazioni private e agenzie statali come il National Institute of Justice. Nel 2005 Wintermute ha cominciato a finanziare personalmente le sue ricerche con fondi propri, finora per un totale di 1,7 milioni di dollari.

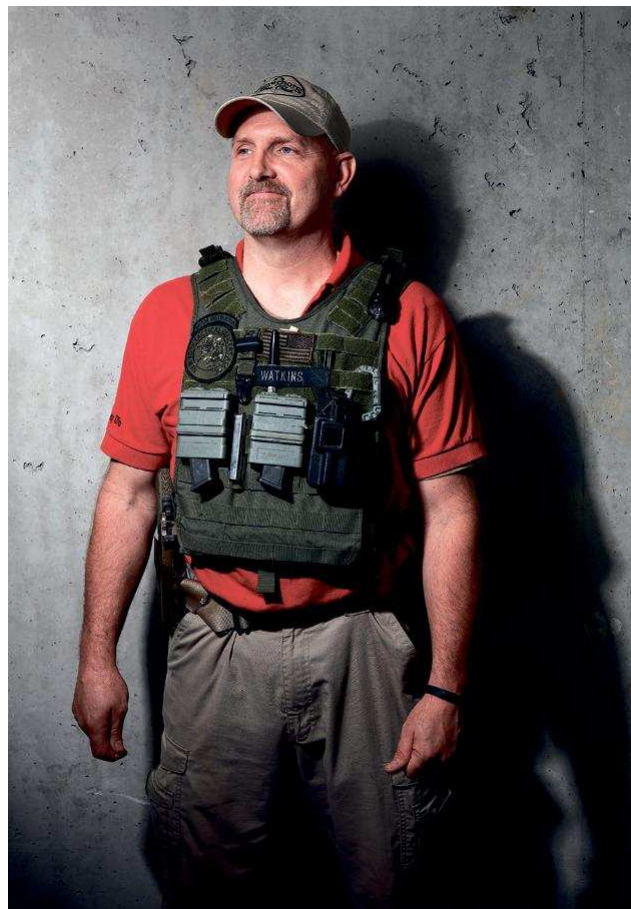
Oltre 30 studi *peer-reviewed*, relativi a individui e a popolazioni, confermano quanto suggerivano le ricerche di Kellermann: le armi sono associate a un maggior rischio di violenze e omicidi. «Ci sono dati davvero uniformi a sostegno dell'affermazione che l'accesso alle armi è associato a un incremento dei rischi di morte e lesioni da armi da fuoco», conclude Wintermute. I gruppi favorevoli alle armi sostengono che il rapporto di causa/effetto è opposto: sono i picchi di crimini violenti a spingere le persone a comprare armi, e non le armi a creare i picchi. Ma se fosse vero l'acquisto di armi da fuoco aumenterebbe di pari passo con tutti i tipi di violenza, e questo in realtà non succede.

Quando ho chiesto alle persone incontrate nel mio viaggio in Georgia le loro opinioni sull'influenza delle armi sulla violenza, molti mi hanno detto che non potevano pensare che le armi fossero una causa profonda. «È più facile prendersela con l'oggetto che cercare il motivo», mi ha detto Graydon. E non ha tutti i torti: sempre più ricerche suggeriscono che la violenza è un comportamento contagioso che esiste indipendentemente dalle armi e dai mezzi con cui si esercita. In questo quadro, le armi sono un elemento accessorio della violenza contagiosa, più che una causa. Ma ciò non vuol dire che non contino. Le armi da fuoco intensificano gli scontri violenti, fanno salire la posta in gioco e aggravano gli esiti, il che spiega come mai vi siano più morti e lesioni gravissime dove le armi da fuoco sono comuni. Può darsi che a scatenare la violenza siano principalmente altri comportamenti violenti, ma queste armi mortali ne aggravano le conseguenze.

Il mito dell'autodifesa

La mia prossima meta – Scottsboro, in Alabama – si trova in una contea dove quasi una persona su cinque ha il permesso di girare con un'arma celata. In tutto l'Alabama, si stima che i titolari di porto d'armi siano il 12 per cento dei residenti, forse il tasso più alto degli Stati Uniti. Con quasi un detentore di porto d'armi su cinque abitanti, la contea dove si trova Scottsboro è in testa alla classifica dello Stato. Volevo sapere se le persone di questa sonnolenta cittadina usino comunemente le armi per opporsi al crimine.

Lasciata la casa di Rosenberg, ho viaggiato verso nord-ovest per 190 chilometri. Passato un motel, un ristorante cinese e un banco di pegni, ho parcheggiato presso il tribunale della contea. Scottsboro ebbe un momento di notorietà nel 1931, quando otto giovani neri falsamente accusati di aver stuprato due donne bianche furono condannati a morte in questo tribunale da una giuria bianca, con una sentenza poi impugnata fino alla Corte suprema degli Stati Uniti. Sono passata per un metal detector e ho girato per i meandri del palazzo in cerca dell'ufficio dello sceriffo, che alla fine ho trovato sul retro del pianterreno; e sono stata accompagnata da Chuck Phillips, seduto alla sua scrivania insieme al suo primo vice-sceriffo Rocky Harnen. Dietro la scrivania era appeso un poster intitolato *Armi corte: le basi*.

«Glielo dico io: qui chi vuole un'arma, o 100, ce l'ha», dice Phillips, con il tipico accento strascicato dell'Alabama. Gli chiedo quante volte gli abitanti di Scottsboro hanno usato armi per difendersi. «Sono 35 anni che sto qui e non ricordo neanche un caso», risponde lo sceriffo. Improvvisamente, però, ad Harnen ne viene in mente uno. «C'era una signora che ha seguito uno dei nostri corsi sulle armi. Un tizio ha cercato di entrarle in casa», ricorda. «Lei ha strillato: "Ho una pistola" e ha aperto la porta, lui stava scappando via, lei gli ha sparato».

Deterrente? Mike Watkins, istruttore di tiro in Georgia, sostiene che «se sono uno dei cattivi, e so che qui ci sono armi, non sarà questo il primo posto in cui mi viene da andare a fare qualcosa di brutto».

Ma non sono riusciti a farsi venire in mente altri esempi. Anche Graydon, per tornare a Kennesaw, non riusciva a ricordare una sola volta in cui uno dei residenti avesse usato un'arma per autodifesa, ed era in polizia da 31 anni.

La frequenza dell'uso delle armi per autodifesa è al centro della controversia sull'effetto delle armi da fuoco. Gli entusiasti delle armi sostengono che accade di continuo. Nel 1995 Gary Kleck, criminologo alla Florida State University, ha pubblicato con Marc Gertz una ricerca con uno dei numeri che piacciono di più alla lobby delle armi. I due avevano chiesto a 5000 statunitensi scelti a caso se loro, o un altro membro del nucleo familiare, avessero usato un'arma da fuoco per difesa nell'anno precedente. Poco più dell'1 per cento degli intervistati aveva risposto di sì; estrapolando i risultati Kleck e Gertz avevano concluso che gli statunitensi usano le armi per autodifesa 2,5 milioni di volte all'anno.

Questo numero, però, è assai più alto di quello ottenuto da indagini governative, come la National Crime Victimization Survey (NCVS), effettuata su decine di migliaia di nuclei familiari. Questa indagine suggerisce che le vittime di crimini usino le armi per autodifesa solo 65.000 volte all'anno. Nel 2015 Hemenway e colleghi hanno studiato i dati raccolti nelle NCVS in cinque anni

Autodifesa? Solo di rado

In genere l'affermazione secondo cui spesso le persone hanno bisogno di un'arma per difendersi dai criminali è sostenuta citando un'indagine del 1995. La sua conclusione era che gli statunitensi usavano le armi per respingere il crimine fino a 2,5 milioni di volte all'anno. Successive ricerche però, con campioni assai più grandi, hanno fortemente ridimensionato questo numero, indicando che l'uso difensivo delle armi da fuoco è insolito.

Studio di alto impatto

In un lavoro pubblicato nel 1995, Gary Kleck della Florida State University e Marc Gertz hanno chiesto a 5000 statunitensi scelti a caso se l'anno precedente avessero usato, loro o un altro familiare, un'arma per autodifesa. Circa l'1 per cento ha risposto di sì, e i ricercatori hanno estrapolato la percentuale alla popolazione totale, arrivando a 2,5 milioni di casi all'anno di uso difensivo di armi.

I numeri in questo studio sono assai più alti di quelli di altri studi. La National Crime Victimization Survey, che interroga decine di migliaia di nuclei familiari, suggerisce che gli statunitensi usino le armi per autodifesa 65.000 volte all'anno. Le domande della NCVS accertano prima che gli intervistati siano stati in effetti vittime di aggressioni, al contrario di quelle di Kleck. Alcuni temono che nei risultati di Kleck siano inclusi resoconti spuri di casi di autodifesa da parte di persone che in realtà non avevano subito crimini.

Percentuale degli intervistati che dicevano di aver usato un'arma da fuoco per autodifesa nell'anno precedente

Studio in contraddizione

Nel 2015 David Hemenway della Harvard University e colleghi hanno vagliato i dati della NCVS trovando che i casi di uso erano assai meno di quelli riferiti da Kleck e Gertz. La ricerca del 2015 ha coinvolto circa 14.000 persone, tutte vittime accertate di crimini, contrariamente al lavoro di Kleck. Le conclusioni indicano che l'uso delle armi per autodifesa è decisamente raro.

Questa percentuale è rivelatrice: è molto inferiore a quella di Kleck e proviene da persone che sono state in situazioni di crimine reali, non da un campione casuale della popolazione generale. Altri dati dello studio indicano che strategie come gridare per chiedere aiuto sono altrettanto efficaci dell'uso di un'arma nel prevenire lesioni.

Vittime di crimini che hanno usato un'arma per autodifesa durante il fatto (percentuale, 2007-2011)

Nel 1998 Arthur Kellermann ha analizzato 626 casi di sparatorie avvenuti in casa o nelle vicinanze in tre città, trovando che spari accidentali, omicidi, aggressioni e suicidi erano assai più frequenti dell'uso delle armi per autodifesa.

Fonti: Kleck G. e Gertz M. *Armed Resistance to Crime: The Prevalence and Nature of Self-Defense with a Gun*, in «Journal of Criminal Law and Criminology», Vol. 86, n. 1, autunno 1995; Hemenway D. e Solnick S.J. *The Epidemiology of Self-Defense Gun Use: Evidence from the National Crime Victimization Surveys 2007-2011*, in «Preventive Medicine», Vol. 79, ottobre 2015; Kellermann A. e altri. *Injuries and Deaths Due to Firearms in the Home*, in «Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care», Vol. 45, n. 2, agosto 1998.

Al poligono di tiro vicino a Kennesaw. In un recente sondaggio sui possessori di armi negli Stati Uniti, l'88 per cento ha detto di aver comprato armi per autodifesa, e molti ritenevano di poter essere bersaglio di crimini violenti.

concludendo che le armi sono usate per autodifesa in meno dell'1 per cento dei crimini che avvengono in presenza di una vittima. Inoltre i ricercatori hanno trovato che l'uso di un'arma da fuoco è efficace quanto altre manovre difensive, come gridare per chiedere aiuto. «Dai dati non emerge che chi si difende con la pistola ha meno probabilità di finire male», dice Philip Cook, economista della Duke University che si occupa di armi fin dagli anni settanta.

Tra l'indagine di Kleck e Gertz e la NCVS vi sono importanti differenze che possono contribuire a spiegare la discordanza. Nella NCVS, prima si accerta che una persona sia stata vittima di un'aggressione e poi si fanno domande sull'uso delle armi per autodifesa, il che elimina le risposte positive di persone che magari tirano fuori la pistola in una rissa da bar per poi chiamarla autodifesa. L'indagine di Kleck e Gertz potrebbe aver sovrastimato l'autodifesa includendovi casi ambigui simili. Kleck ribatte che la NCVS potrebbe sottostimarla, perché le persone che non si fidano dei sondaggisti hanno paura di ammettere di aver usato la propria arma. Ma a chi partecipa alla NCVS viene detto che è protetto dalle legge e che le risposte resteranno anonime.

Uno sguardo da vicino a chi, che cosa, dove e perché della violenza armata può fare luce sull'autodifesa. In massima parte, gli statunitensi con porto d'armi sono maschi bianchi di zone rurali, eppure sono i maschi neri delle aree urbane a incorrere nella violenza in modo sproporzionato. I crimini violenti, poi, sono geograficamente concentrati: tra il 1980 e il 2008 la metà di tutti i crimini violenti con armi a Boston è avvenuta nel 3 per cento di strade e incroci della città. E a Seattle, in un periodo di 14 anni, tutti gli episodi di criminalità giovanile si sono verificati in meno del 5 per cento dei tratti stradali. In altre parole, la maggior parte delle persone che vanno in giro armate ha poche probabilità di trovarsi in situazioni in cui potrebbero dover usare l'arma per autodifesa.

Liberalizzazione negativa

Questi numeri, però, non trovano eco in molti proprietari di armi. «Assolutamente sì, avere un'arma da fuoco significa sicurezza», mi ha detto Phillips. Watkins ha opinato che «avere un'arma ti dà l'opportunità di rifiutarti di essere una vittima». In seguito Watkins, che è stato agente di polizia nella parte settentrionale

dello Stato di New York, ha ammesso che è raro che si spari per autodifesa, anche da parte delle forze dell'ordine. In uno studio di giugno 2017 in cui sono stati intervistati proprietari di armi da fuoco, l'88 per cento ha dichiarato di comprarle per autodifesa; molti pensavano di poter diventare prima o poi bersaglio di crimini violenti. È una convinzione così pervasiva che ci sono compagnie assicurative che propongono polizze apposite. Alla conferenza a cui ho assistito a Stone Mountain, un rappresentante di Texas Law Shield, un programma di difesa legale per chi usa le armi, ha cercato di convincermi a firmare per un servizio di rappresentanza legale gratuita nel caso in cui avessi sparato a qualcuno per difendermi. «Non ti serve a niente fino a che non ti serve, ma quando ti serve, caspita se sei contenta di averlo», mi ha detto.

Eppure, mentre prendeva piede l'idea che siamo tutti future vittime della criminalità, in realtà negli ultimi decenni negli Stati Uniti i tassi dei crimini violenti sono scesi. Secondo l'FBI, nel 2005 erano più bassi del 41 per cento rispetto al 1996. La NRA attribuisce il calo all'acquisto di un numero maggiore di armi, ma questo è fuorviante: è cresciuto il numero di persone che hanno più di un'arma, mentre il numero effettivo di persone e nuclei familiari che le possiedono è nettamente calato.

Di recente i ricercatori hanno cercato di accertare il valore di autodifesa delle armi da fuoco studiando le leggi dette *stand-your-ground*, che hanno guadagnato in notorietà con l'assassinio di un adolescente, Trayvon Martin, da parte di George Zimmerman in Florida nel 2012. Queste leggi permettono a chi si sente in pericolo di uccidere per autodifesa. I gruppi favorevoli alle armi sostengono che dovrebbe essere un deterrente contro il crimine perché i criminali sapranno che le vittime non hanno alcuna ragione per non reagire. Ma uno studio del gennaio 2017 riferisce che da quando la legge stand-your-ground è stata approvata in Florida, il tasso mensile di omicidi è salito di quasi un quarto. E uno studio del 2012 ha trovato che gli Stati che hanno approvato queste leggi hanno sperimentato un aumento improvviso e permanente degli omicidi dell'8 per cento rispetto agli altri Stati. Mark Hoekstra, uno degli autori di quest'ultimo studio, economista della Texas A&M University, la mette così: «Abbiamo trovato che se uccidere diventa più facile poi ci sono più morti».

Ma c'è chi sostiene che le armi possono contrastare il crimine anche quando non sono usate. Il ragionamento è che nelle zone in cui molti vanno in giro con armi senza tenerle in mostra, i delinquenti, che preferiscono non prendere di mira chi potrebbe essere armato, non commettono crimini violenti. Lo studio più famoso, pubblicato nel 1997 da John R. Lott, allora associato di ricerca all'Università di Chicago, e David B. Mustard, economista oggi all'Università della Georgia, ha considerato i tassi di criminalità contea per contea in vari Stati con leggi che rendevano più facile ottenere il porto d'armi in tempi diversi prima del 1992, poi ha confrontato questi tassi con i livelli di criminalità di zone in cui, nello stesso periodo, l'accesso alle armi non era stato facilitato. L'ipotesi era che quando in una zona diventa più facile ottenere il porto d'armi ci sono più persone che lo ottengono e girano armate, quindi la violenza diminuisce. Basandosi su questo confronto, Lott e Mustard hanno sviluppato un modello che indicava che quando ottenere il porto d'armi diventava più facile, le aggressioni calavano del 5 per cento, gli stupri del 7 per cento e gli omicidi del 7,65 per cento. Poi, nel 1998, Lott ha pubblicato un libro intitolato *More Guns, Less Crime* che considerava leggi sulle armi e delitti in oltre 3000 contee e riferiva risultati analoghi.

Molti ricercatori sono giunti a conclusioni opposte. In un do-

IMPATTI

L'accesso alle armi non riduce i crimini

Secondo i sostenitori delle armi, consentire a più cittadini di girare armati – facilitando la concessione dei permessi – scoraggerebbe il crimine. L'idea si fonda in larga parte su un controverso studio del 1997 che analizzava i tassi di criminalità e concludeva che le attività criminali diminuivano nelle aree che allentavano le regole sul porto d'armi. Ma lo studio è stato ampiamente criticato e contraddetto da altre ricerche.

Studio di alto impatto

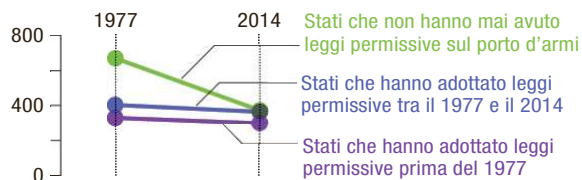
Nel 1997 un lavoro di John Lott e David B. Mustard ha analizzato i dati dei crimini delle contee statunitensi tra il 1977 e il 1992, trovando che i tassi di omicidio erano scesi del 7,65 per cento in 10 Stati dopo che avevano reso più facile girare armati. Secondo lo studio, erano scesi anche i tassi di altri crimini.

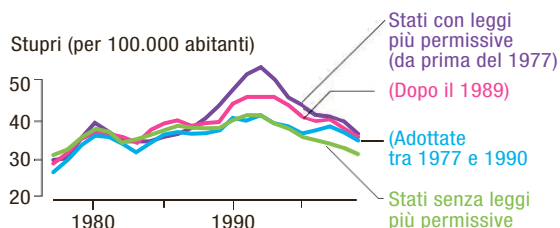
Le cifre sono proiezioni del numero di crimini che si sarebbero evitati se tutti gli Stati avessero attenuato le leggi sul porto d'armi nel 1992, secondo il modello di Lott e Mustard. Ma i revisori del National Research Council hanno concluso che bastano minime modifiche del modello per grandi variazioni dei risultati, sia indebolendo sia rinforzando il legame tra leggi sul porto d'armi e crimine, e che con il loro modello era impossibile dire come le modifiche di queste leggi influenzino il crimine.

Variazioni previste del numero di crimini se gli Stati privi di leggi più permissive nel 1992 avessero adottato leggi simili (stime dai dati di contee)

Studio in contraddizione

Una ricerca di quest'anno contraddice Lott e Mustard. John Donohue, economista alla Stanford University, ha trovato che i tassi dei crimini violenti sono scesi nettamente negli Stati in cui non è facile ottenere il porto d'armi, ma solo di poco in quelli che li concedono con facilità.

Crimini violenti (per 100.000 residenti)

In uno studio sugli stupri del 2003, Donohue e colleghi non hanno trovato alcun effetto protettivo negli Stati che hanno reso più facile girare armati. In un decennio questi Stati hanno avuto tassi di stupri simili o superiori a quelli degli Stati che non hanno allentato le leggi sul porto d'armi. Le leggi che rendono più facile girare armati non hanno protetto dal crimine.

Stupri (per 100.000 abitanti)

cumento di lavoro del giugno 2017, John Donohue, economista della Stanford University, ha riferito che quando uno Stato riduce i requisiti per il porto d'armi i tassi della maggior parte dei crimini violenti crescono. Un decennio dopo la riduzione dei requisiti, i tassi dei crimini violenti restano più alti del 13-15 per cento.

E nel 2004 il National Research Council, che dà pareri indipendenti su questioni scientifiche, ha rivolto la sua attenzione alla ricerca sulle armi. Ha chiesto a 15 studiosi di rianalizzare i dati di Lott, perché «nel campo c'erano tanti conflitti sui risultati», ricorda il presidente della commissione, il criminologo Charles Wellford, oggi professore emerito dell'Università del Maryland. Gli studiosi hanno trovato che nel modello di Lot bastavano piccoli aggiustamenti per grandi cambiamenti nei risultati. «Le nostre e altre analisi mostrano che quelle stime sono fragili», spiega Wellford. «La commissione, con un'eccezione, ha ritenuto che la conclusione che più armi significano meno delitti non è accettabile». Wintermute riassume: «C'è qualche studio che suggerisce che nel complesso liberalizzare l'accesso al porto d'armi ha effetti positivi. Un numero molto più grande di studi suggerisce che nel complesso gli effetti sono negativi».

Lott, che oggi dirige l'organizzazione no-profit Crime Prevention Research Center, dice che la commissione non era obiettiva, ed è stata «istituita apposta per screditare il mio lavoro». La NRA ha una posizione analoga: dice che la ricerca che evidenzia i pericoli legati alle armi rientra in un piano mirato a controllare e confiscare le armi da fuoco.

Ma è cruciale distinguere tra i dirigenti delle organizzazioni pro-armi e i loro sostenitori, che spesso hanno opinioni più sfumate. «Ho un'arma. Ho il porto d'armi. Posso addirittura istruire altre persone su come usare un'arma, e il mio obiettivo è di non trovarmi mai e poi mai a doverla usare», dice Tina Monaghan, impiegata comunale di Nelson, in Georgia. Nel 2013 a Nelson, come a Kennesaw, è passata una norma che imponeva ai residenti di possedere armi, che però è stata attenuata in quello stesso anno in seguito a un'azione legale. Secondo un sondaggio del 2015 pubblicato da ricercatori della John Hopkins University, l'85 per cento dei possessori di armi da fuoco è favorevole al controllo dei precedenti per tutte le vendite di armi, comprese quelle dei rivenditori senza licenza, malgrado la NRA vi si opponga con forza.

Fuori bersaglio. Questa maglietta, come gli adesivi applicati ai paraurti che sostengono che le armi proteggono le brave persone dal crimine, riflette sentimenti diffusi ma smentiti da decine di studi secondo cui le armi da fuoco non sono un buon deterrente.

La vita non è un poligono

Ho sentito posizioni molto più divergenti da quella della NRA nell'ultimo posto in cui mi sono fermata in Alabama: la rivendita di armi e banco di pegni Scottsboro Guns and Pawn, in una delle principali strade della cittadina. Uno dei proprietari, Robert Shook, mi ha parlato della pressione sul Senato dell'Alabama per abolire il porto d'armi occulto, che renderebbe lecito girare con un'arma nascosta per chiunque abbia almeno 18 anni. La proposta è passata ad aprile di quest'anno, ma poi non è stata votata alla Camera dei Rappresentanti dello Stato nella sessione legislativa del 2017. «Ci sono molte cose che fa la NRA con cui non sono d'accordo», ha detto, in piedi dietro un bancone di vetro pieno di pistole. «Sono andati a destra più di quanto gli altri siano andati a sinistra. Stanno gettando dalla finestra il buon senso». In effetti, oggi la NRA è assai più estremista di quanto non sia stata in passato. Negli anni trenta, l'allora presidente della NRA Karl Frederick testimoniò al Congresso a favore del National Firearms Act, una legge che poneva limiti alla possibilità di portare armi non visibili. «Non credo nella diffusione generale e indiscriminata delle armi», disse Frederick.

La convinzione che più armi portino a meno crimini si fonda sull'idea che le armi sono pericolose quando le hanno i cattivi, quindi bisogna mettere più armi in mano ai buoni. Ma Cook, l'economista della Duke, dice che la dicotomia buoni/cattivi è falsa e pericolosa. Anche un cittadino integerrimo è solo un essere umano: può «perdere la testa, dare giudizi sbagliati, capire male una situazione o bere qualche bicchiere», spiega, e se capita quando ha una pistola possono succedere brutte cose. Nel 2013 a Ionia, in Michigan, una lite stradale ha portato due guidatori, entrambi con il porto d'armi, a tirare fuori le pistole e ammazzarsi.

Mentre guidavo da Scottsboro ad Atlanta per prendere l'aereo verso casa rimuginavo su quello che avevo sentito e imparato. Anche se non sappiamo con esattezza che effetto hanno su di noi le armi, l'idea che averne di più conduca a una riduzione del crimine è quasi certamente sbagliata. Le ricerche sul tema non sono univoche, e sarebbe bene farne di più. Ma quando tutti gli studi tranne qualcuno puntano nello stesso senso, c'è da credere che la verità stia in quella direzione: cioè, in questo caso, che le armi non inibiscono delitti e violenze. Anzi, li aggravano.

Un adesivo che si vede su molti paraurti dice che «le pistole non uccidono, le persone uccidono», e questo è vero. Le persone, tutti noi, vivono vite complicate, interpretano male le situazioni, si arrabbiano, sbagliano. E quando sbagliano e premono il grilletto, non c'è rimedio. Non è come il mio attacco allo zombie con la Glock: la vita non è un poligono di tiro. ■

PER APPROFONDIRE

Obstacles to Firearm and Violence Research. Kellermann A.L., in «Health Affairs», Vol. 12, n. 4, pp. 142-153, novembre 1993.

Armed Resistance to Crime: The Prevalence and Nature of Self-Defense with a Gun. Kleck G. e Gertz M., in «Journal of Criminal Law and Criminology», Vol. 86, n. 1, pp. 150-187, 1995.

Crime, Deterrence, and Right-to-Carry Concealed Handguns. Lott J.R. Jr. e Mustard D.B., in «Journal of Legal Studies», Vol. 26, n. 1, pp. 1-68, gennaio 1997.

Firearms and Violence: A Critical Review. National Research Council, National Academies Press, 2004.

State-Level Homicide Victimization Rates in the US in Relation to Survey Measures of Household Firearm Ownership, 2001-2003. Miller M. e altri, in «Social Science & Medicine», Vol. 64, n. 3, pp. 656-664, febbraio 2007.

The Relationship between Gun Ownership and Stranger and Nonstranger Firearm Homicide Rates in the United States, 1981-2010. Siegel M. e altri, in «American Journal of Public Health», Vol. 104, n. 10, pp. 1912-1919, ottobre 2014.

Is It a Dangerous World Out There? The Motivational Bases of American Gun Ownership. Stroebe W. e altri, in «Personality and Social Psychology Bulletin», Vol. 43, n. 8, pp. 1071-1085, agosto 2017.

Fonti: Lott J.R., Jr. e Mustard D.B. *Crime, Deterrence, and Right-To-Carry Concealed Handguns*, in «Journal of Legal Studies», Vol. 26, n. 1, pp. 1–68, gennaio 1997; Donohue J.J., Aneja A. e Weber K.D. *Right-To-Carry Laws and Violent Crime: A Comprehensive Assessment Using Panel Data and a State-Level Syntetic Control Analysis*. National Bureau of Economic Research Working Paper n. 23510, giugno 2017; Aures I. e Donohue III J.J. *Shooting Down the "More Guns, Less Crime Hypotesis"*, in «Stanford Law Review» Vol. 55, aprile 2003.

STORIA DELLA SCIENZA

Medicina pericolosa

La chirurgia è stata una pratica rischiosa e dolorosa per i pazienti fino a metà del XIX secolo, quando due chirurghi, con l'aiuto della scienza, riuscirono a trasformare questa antica arte da macellai

di Lindsey Fitzharris

The Agnew Clinic, dipinto di Thomas Eakins del 1889, ritrae un teatro operatorio negli Stati Uniti dopo l'avvento dell'anestesia in chirurgia.

el 1846, pochi giorni prima di Natale, un celebre chirurgo di nome Robert Liston si presentò al pubblico riunito nella nuova sala operatoria dello University College di Londra stringendo tra le mani un vaso di etere liquido e trasparente che avrebbe dovuto permettere ai chirurghi di smettere di operare in tutta fretta. Se quello che si diceva negli Stati Uniti fosse stato confermato, la natura della chirurgia sarebbe cambiata per sempre. Eppure Liston continuava a chiedersi se l'etere non fosse che un'ennesima invenzione di ciarlatani, di scarsa o nessuna utilità per la chirurgia.

La tensione era alta. Appena un quarto d'ora prima dell'arrivo di Liston il suo collega William Squire si era rivolto alla folla di spettatori chiedendo se qualcuno era disposto a prestarsi per un esperimento. Un mormorio nervoso aveva attraversato la sala. Squire teneva in mano un congegno di vetro simile a un narghilè, con un tubo di gomma e una mascherina a campana. Lo strumento era stato progettato dallo zio di Squire, un farmacista londinese, ed era stato usato appena un paio di giorni prima dal dentista James Robinson durante l'estrazione di un dente. L'oggetto aveva un'aria strana, e nessuno ebbe il coraggio di offrirsi volontario per provarlo su di sé.

Alla fine, esasperato, Squire aveva obbligato il custode della sala, Shelldrake, a sottoporsi alla dimostrazione. Non era stata una scelta felice perché — come scrisse Harold Ellis, chirurgo in pensione — l'uomo era «grasso, pletorico, con un fegato indubbiamente avvezzo ai liquori forti». Squire appoggiò delicatamente lo strumento sul volto di Shelldrake. Secondo le testimonianze, il custode, inspirato alcune volte l'etere, saltò giù dal tavolo e scappò di corsa dalla sala, gridando a squarciagola e maledicendo il chirurgo e la folla.

Non ci sarebbero state altre prove. Era arrivato il momento della verità.

La sconfitta del dolore

Alle 2.25 del pomeriggio Frederick Churchill – un maggiordomo di 36 anni – fu portato in sala su una barella. Era affetto da osteomielite cronica della tibia, un'infezione batterica dell'osso che gli aveva provocato un vistoso gonfiore e ripiegamento del ginocchio destro. Era stato operato una prima volta tre anni prima, quando gli avevano inciso l'area infiammata e – come descritto in un articolo del 1915 sull'«American Journal of Surgery» — ne avevano estratto «una serie di corpi lamellari di forma irregolare», di dimensioni comprese tra quelle di un pisello e quelle di un grosso fagiolo.

Il 23 novembre 1846 Churchill era stato nuovamente ricoverato. Dopo alcuni giorni Liston gli aveva praticato un'incisione e inserito un sondino nel ginocchio. Poi, senza lavarsi le mani, aveva tastato l'osso per accertarsi che fosse tutto a posto, quindi aveva ordinato di pulire e fasciare la ferita, e di lasciare riposare il paziente. Nei giorni seguenti, però, le condizioni di Churchill erano peggiorate; aveva iniziato ad avvertire un dolore acuto che dall'anca si irradiava alle dita dei piedi. Poiché il dolore si era ripresentato nuovamente tre settimane dopo, Liston aveva deciso di amputargli la gamba.

Churchill fu trasferito sul tavolo di legno. Due assistenti si misero ai suoi lati, pronti a trattenere il paziente terrorizzato mentre Liston gli amputava l'arto se l'etere non avesse avuto l'effetto sperato. Al segnale di Liston, Squire si fece avanti e appoggiò la maschera sulla bocca di Churchill. In pochi minuti il paziente perse conoscenza. Squire appoggiò un fazzoletto imbevuto di etere sul volto di Churchill, per assicurarsi che non si svegliasse durante l'operazione. Fece quindi un cenno col capo a Liston e disse: «Così dovrebbe andare, signore».

Liston aprì una lunga custodia e ne estrasse un coltello da amputazione a lama dritta che lui stesso aveva progettato. Uno degli spettatori notò sull'impugnatura tante piccole tacche, che indicavano il numero di volte in cui era stato usato, e ne dedusse che fosse uno dei suoi strumenti prediletti. Liston passò l'unghia del pollice sulla lama per controllarne l'affilatura. Soddisfatto, disse al suo assistente William Cadge di prendere le pulsazioni, poi si rivolse al pubblico.

«Adesso, signori, cronometratemi!», esclamò. E fu tutto un «click» di orologi da tasca che venivano estratti dai panciotti e aperti a scatto.

Liston si girò verso il suo paziente e gli strinse la coscia con la mano sinistra. Con un movimento rapido fece una profonda incisione sopra al ginocchio destro. Uno degli assistenti legò subito un laccio emostatico intorno alla gamba per fermare l'emorragia, mentre Liston spinse le dita sotto al lembo di pelle per tirarlo indietro. Con un'altra serie di rapide manovre con il coltello, il chirurgo espose il femore. A quel punto si fermò.

Davanti all'osso in bella vista, molti chirurghi si lasciavano intimorire dall'idea di doverlo segare. Agli inizi del XIX secolo Charles Bell ammoniva i suoi studenti di procedere lentamente e con cautela. Anche ai chirurghi esperti di incisioni poteva capitare di farsi prendere dal panico quando si ritrovavano ad amputare un arto. Nel 1823 Thomas Alcock disse che l'umanità «trema al pensiero che uomini inesperti nell'uso di qualsiasi strumento, che non sia quello quotidiano di coltello e forchetta, abbiano l'ardire di operare con mani profane altre creature sofferenti». Raccontò la

IN BREVE

Fino a metà del XIX secolo la chirurgia era quasi sempre sinonimo di sofferenza.

L'adozione dell'etere come anestetico generale incrementò non solo il numero di interventi chirurgici, ma anche le infezioni e le complicazioni.

Dopo aver assistito alla nascita della chirurgia indolore, un giovane studente di medicina, Joseph Lister, si propose di trovare un modo per operare senza mettere a rischio i pazienti.

Lindsey Fitzharris è curatrice di siti web e video dedicati agli episodi meno conosciuti della storia della medicina, in cui è specializzata. Ha scritto per «Lancet», «New Scientist» e altre testate.

storia raccapricciante di un chirurgo la cui sega era rimasta così incastrata in un osso da non riuscire più a muoverla. Il suo contemporaneo William Gibson consigliava ai novellini di esercitarsi con un pezzo di legno, per scongiurare simili scenari da incubo.

Liston affidò il coltello a uno degli assistenti, che gli passò la sega. Lo stesso assistente sollevò poi i muscoli che sarebbero serviti poi per formare un moncone adeguato. Il grande chirurgo dovette segare cinque o sei volte prima che l'arto si staccasse, cadendo nelle mani pronte di un secondo assistente che subito lo buttò in una cassa piena di segatura accanto al tavolo operatorio.

Nel frattempo il primo assistente tolse momentaneamente il laccio emostatico per mostrare le arterie e le vene recise che dovevano essere legate. Nell'amputazione a mezza coscia, i vasi da assicurare mediante legatura sono in genere undici. Liston chiuse l'arteria principale con un nodo piano, poi passò ai vasi sanguigni minori, che estrasse uno alla volta aiutandosi con un uncino acuminato chiamato tenacolo. L'assistente tolse nuovamente il laccio mentre il chirurgo ricuciva la carne rimanente.

Liston impiegò in tutto 28 secondi per amputare la gamba destra di Churchill, durante i quali il paziente non si mosse e non gridò mai. Secondo le testimonianze, pochi minuti dopo, al suo risveglio, Churchill chiese quando sarebbe iniziato l'intervento e trovò risposta alla vista del moncone sollevato, con gran divertimento degli spettatori sbalorditi dalla scena. Con il volto illuminato dall'emozione del momento, Liston annunciò: «Questa trovata degli americani, signori, batte di gran lunga il mesmerismo!».

L'epoca del dolore era ormai al tramonto.

Due giorni dopo il chirurgo James Miller lesse ai suoi studenti di medicina di Edimburgo una lettera scritta in tutta fretta da Liston «in cui annunciava, in termini entusiastici, che una nuova luce aveva illuminato la Chirurgia». Nei primi mesi del 1847 chirurghi e celebrità incuriosite andarono in visita nelle sale operatorie per assistere al miracolo dell'etere. Tutti, da Sir Charles Napier, governatore di una colonia corrispondente a un'attuale provincia del Pakistan, al principe Jérôme Bonaparte, fratello più giovane di Napoleone I, vollero vedere con i propri occhi gli effetti dell'etere.

Fu coniato il termine «eterizzazione», e il suo impiego in chirurgia fu celebrato su tutti i giornali. Si diffuse la notizia delle sue virtù. «Il successo assoluto dell'etere non ha eguali nella storia della medicina», proclamò l'«Exeter Flying Post». Il successo di Liston fu decantato anche dal «People's Journal» di Londra: «Oh, quale piacere per tutti i cuori sensibili [...] l'annuncio dell'insigne scoperta del potere di sopire il senso del dolore, e nascondere allo sguardo e al ricordo tutti gli orrori di un'operazione [...]. ABBIAMO SCONFITTO IL DOLORE».

Un nemico invisibile

Oltre al trionfo di Liston con l'etere, quel giorno fu altrettanto importante la presenza di un giovane di nome Joseph Lister, rimasto seduto in silenzio in fondo alla sala operatoria. Quando uscì su Gower Street, sbigottito e affascinato dall'evento eccezionale a cui aveva appena assistito, l'ambizioso studente di medicina si rese conto che la natura della sua futura professione sarebbe cambiata per sempre. Lui e i suoi compagni di corso non avrebbero più dovuto vedere «una scena orribile e angosciante» come quella descritta da William Wilde, uno studente di chirurgia che suo malgrado aveva presenziato all'asportazione del bulbo oculare di un paziente non anestetizzato. Né avrebbero mai provato l'impulso di scappare, come accadeva puntualmente al chirurgo John Flint South quando le grida dei pazienti sotto i ferri di un «macellaio» divenivano insopportabili.

Eppure, mentre avanzava tra la folla di uomini che si stringevano la mano e si congratulavano tra loro per la professione scelta e per questa memorabile vittoria, Lister era pienamente consapevole che il dolore era solo uno dei fattori che ostacolavano il successo della chirurgia.

Sapeva che il rischio incombente delle infezioni aveva limitato da sempre il raggio d'azione dei chirurghi. Penetrare nell'addome, per esempio, si era dimostrato quasi sempre fatale, proprio per questa ragione. Anche la zona toracica era esclusa. In linea di massima, mentre i medici si occupavano dei disturbi interni — da cui il termine «medicina interna» che resiste ancora oggi — i chirurghi si dedicavano a quelli periferici: lacerazioni, fratture, ulcere, ustioni. Solo nelle amputazioni il coltello del chirurgo penetrava a fondo nell'organismo. Un conto era sopravvivere a un'operazione, un altro era guarire completamente e senza complicazioni.

Ebbene, nei vent'anni successivi all'introduzione dell'anestesia i risultati della chirurgia peggiorarono. Grazie alla nuova sensazione di sicurezza derivante dal poter operare senza infliggere dolore, i chirurghi divennero sempre più propensi a mettere mano al coltello, incrementando così l'incidenza delle infezioni e degli shock post-operatori. Al Massachusetts General Hospital, per esempio, dopo l'adozione dell'anestesia il tasso di mortalità per le amputazioni passò dal 19 al 23 per cento. Mentre il numero di interventi cresceva, le sale operatorie diventavano più sporche che mai. I chirurghi, ancora ignari delle cause delle infezioni, usavano gli stessi strumenti su più pazienti senza lavarli. Più erano gremite le sale, più diminuiva la probabilità che fossero adottate perfino le più elementari precauzioni igieniche. Molte delle persone operate morivano, oppure non guarivano mai completamente, e restavano storpie o invalide per tutta la vita. Il problema era universale. In tutto il mondo i pazienti iniziarono a temere ancor più di prima la parola «ospedale», mentre i chirurghi più esperti perdevano fiducia nelle proprie capacità.

Con il trionfo dell'etere di Robert Liston, Lister aveva assistito all'eliminazione del primo dei due principali ostacoli della chirurgia, che ora poteva essere praticata senza dolore. Presto, ispirato da quanto aveva visto quel pomeriggio del 21 dicembre – ma consapevole dei rischi che ancora incombevano sulla sua professione – Joseph Lister, nella sua profonda perspicacia, avrebbe deciso di dedicare il resto della sua vita alla scoperta delle cause e della natura delle infezioni post-operatorie e alla ricerca di una soluzione. Sulla scia di uno degli ultimi grandi macellai, stava per cominciare una nuova rivoluzione per la chirurgia. ■

PER APPROFONDIRE

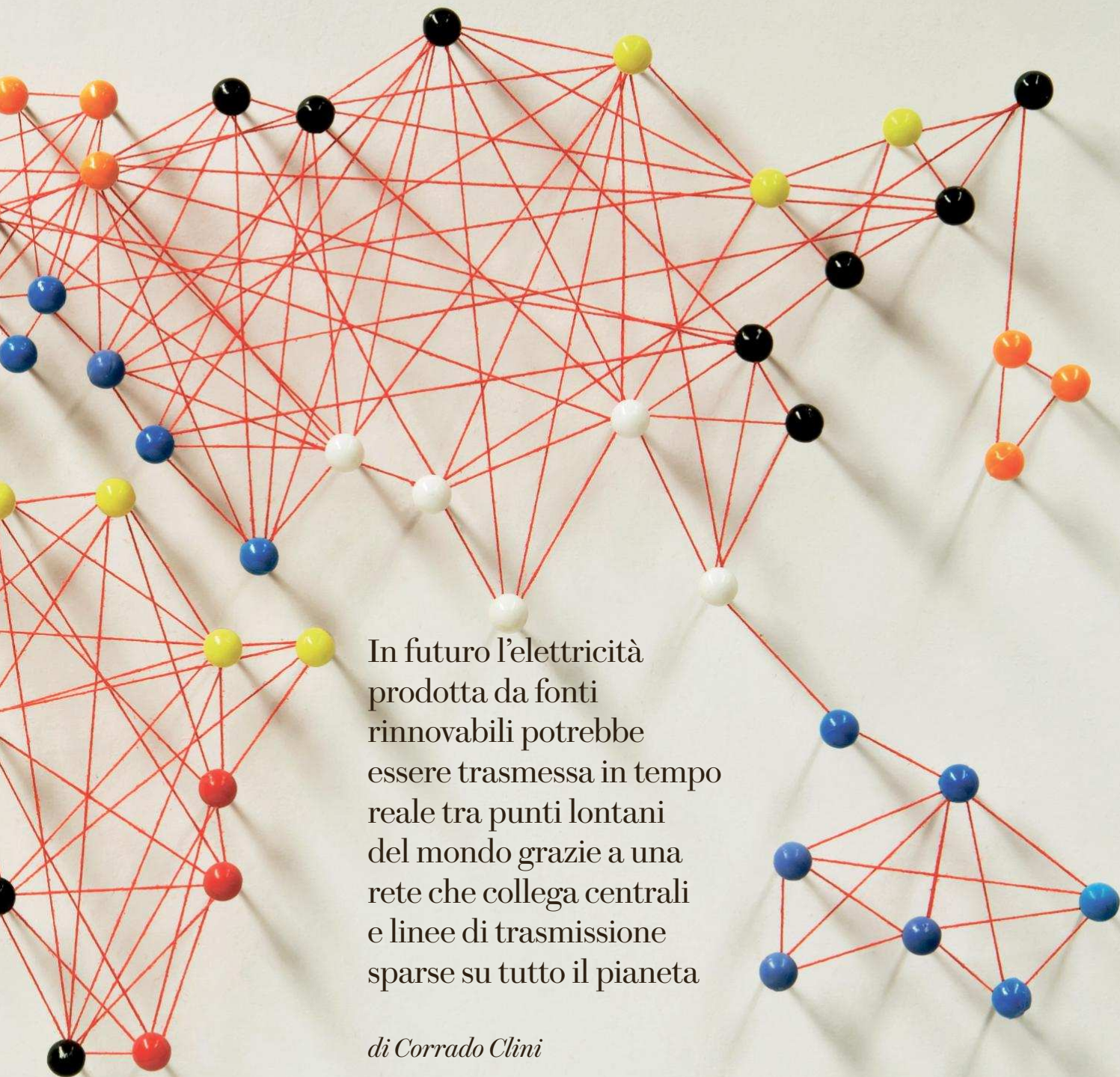
Historical Development of Modern Anesthesia. Robinson D.H. e Toledo A.H., in «Journal of Investigative Surgery», Vol. 25, n. 3, pp. 141-149, 2012.

Mangling the Dead: Dissection, Past and Present. Fitzharris L., in «Lancet», Vol. 381, pp. 108-109, 12 gennaio 2013.

Joseph Lister and the Performance of Antiseptic Surgery. Worboys M., in «Notes and Records», Vol. 67, n. 3, pp. 199-209, 20 settembre 2013.

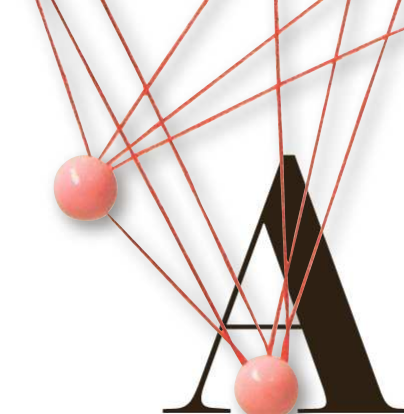
TECNOLOGIA

L'Internet dell'energia

Pogonici/iStock

In futuro l'elettricità prodotta da fonti rinnovabili potrebbe essere trasmessa in tempo reale tra punti lontani del mondo grazie a una rete che collega centrali e linee di trasmissione sparse su tutto il pianeta

di Corrado Clini

IN BREVE

Global Energy Interconnection è il progetto proposto da State Grid Corporation of China, la più grande compagnia elettrica del mondo, alla comunità internazionale.
L'obiettivo è lo sviluppo di una rete di linee elettriche che trasmettono in tempo reale da un punto all'altro del pianeta l'elettricità prodotta da fonti rinnovabili, indipendentemente dalla localizzazione di uno specifico impianto.

Questa Internet dell'energia potrebbe essere la chiave per decarbonizzare l'economia del pianeta, rendere più efficiente l'uso dell'elettricità e portare energia elettrica ai miliardi di persone che hanno accesso precario o non hanno accesso all'elettricità.
Lo sviluppo di una rete simile è un vantaggio anche per l'Italia sia per il suo ruolo nello sviluppo delle tecnologie sia per fattori geopolitici.

Assicurare entro il 2050 l'elettricità necessaria al pianeta con l'energia prodotta dal Sole e dal vento. Era questo l'obiettivo indicato nel 2010 dal documento strategico della State Grid Corporation of China (SGCC), la più grande compagnia elettrica del mondo, con oltre 1 miliardo di utenti e un fatturato di 330 miliardi di dollari.

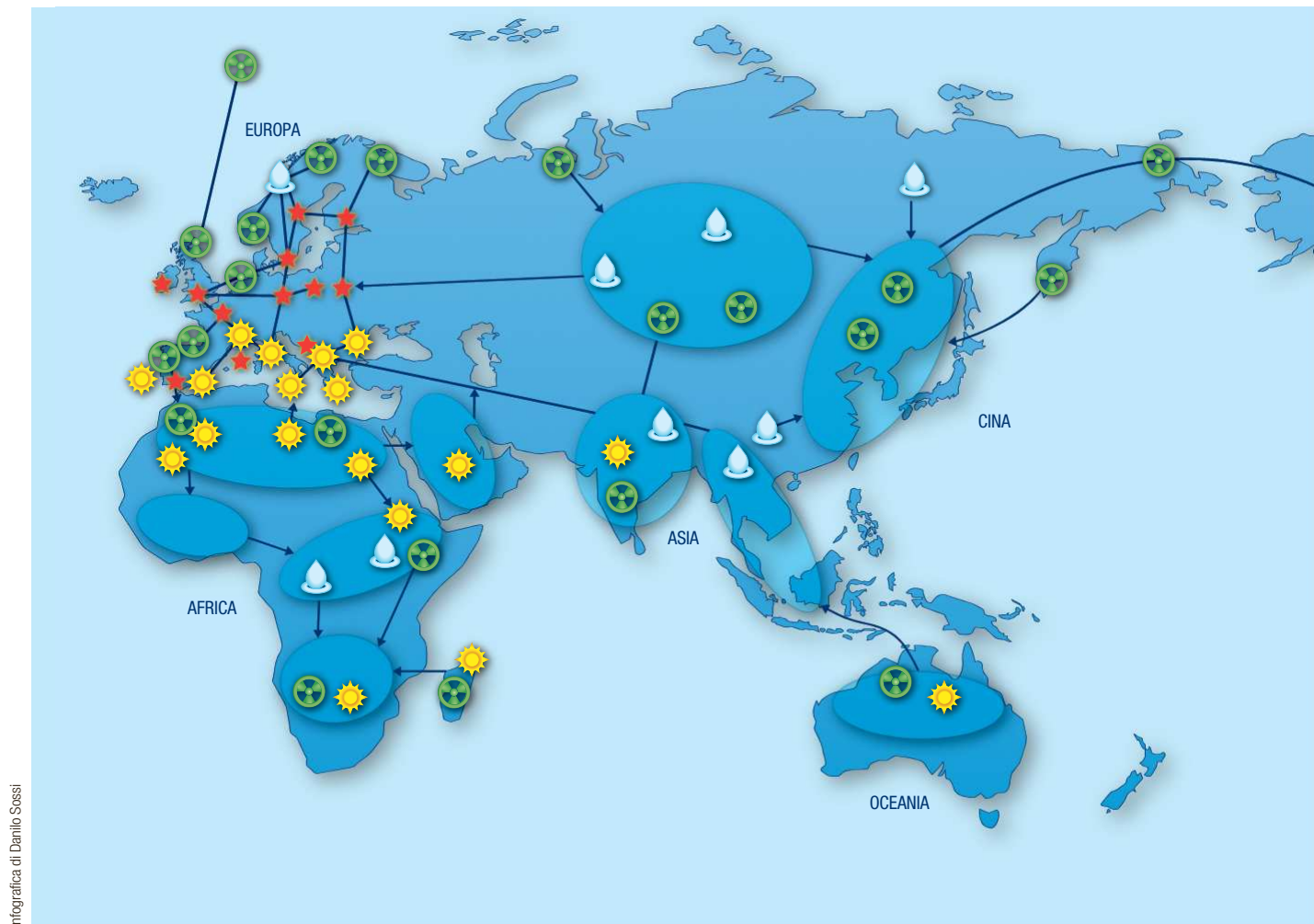
Nel 2015 l'obiettivo della SGCC è stato presentato all'Assemblea generale delle Nazioni Unite dal presidente cinese Xi Jinping come «visione» della Cina sul futuro dell'energia: la Global Energy Interconnection è il progetto proposto alla comunità internazionale per realizzare entro il 2050 l'interconnessione su scala globale delle reti elettriche al fine di ottimizzare l'uso dell'elettricità prodotta dalle fonti rinnovabili. Nel 2016 la Cina ha promosso la Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization (GEIDCO), il cui scopo è individuare e programmare soluzioni tecnologiche condivise a livello mondiale per «rispondere alla domanda globale di elettricità promuovendo lo sviluppo delle soluzioni alternative e verdi».

Fino a oggi hanno aderito a GEIDCO 265 imprese e istituzioni scientifiche di 22 paesi di Africa, Asia, Europa (tra cui ABB, Siemens, Terna, Politecnico di Torino, Università di Birmingham), Sud America, Nord America e Australia. Liu Zhenya, ex presidente di SGCC, è il *chairman* di GEIDCO, e Steven Chu, premio Nobel per la fisica, segretario per l'energia nella prima amministrazione di Barack Obama, è il vice-chairman.

Linee, stoccaggio e distribuzione

I tre «pilastri» del progetto dell'interconnessione delle reti elettriche del pianeta sono lo sviluppo delle linee «supercritiche» a corrente continua (ovvero le Ultra High Voltage Direct Current, o UHV-DC) per la trasmissione veloce a lunga distanza e senza perdite dell'elettricità, lo stoccaggio dell'energia prodotta dalle fonti rinnovabili (stoccaggio del solare termodinamico, idrogeno, batterie ad alta capacità), la distribuzione locale dell'elettricità con le reti intelligenti, le cosiddette *smart grid*, per l'efficienza degli usi finali dell'energia.

EUROPA
AFRICA
ASIA
CINA
OCEANIA

Infografica di Danilo Sossi

Corrado Clini, già ministro dell'ambiente, è *visiting professor* di scienze ambientali presso la Tsinghua University di Pechino.

Ha collaborato Arvea Marieni, innovation manager in Amburgo.

Dopo decenni di sperimentazioni, a cui ha contribuito anche l'Italia con il Centro elettrotecnico sperimentale italiano «Giacinto Motta» (CESI) di Milano ed ENEL, l'evoluzione delle tecnologie UHV-DC permette oggi vantaggi significativi rispetto alle linee a corrente alternata (AC) sia in termini di quantità ed efficienza della trasmissione su lunghe distanze, anche intercontinentali, sia in termini di sicurezza ambientale per la riduzione del campo magnetico e dello spazio necessario per le reti aeree.

Le linee UHV-DC (tra 800 e 1100 chilovolt) già realizzate o in fase di realizzazione in Cina e in India, con capacità compresa tra 8000 e 12.000 megawatt, assicurano la trasmissione su distanze tra 1500 e 2300 chilometri con perdite inferiori al 5 per cento. Lo sviluppo delle tecnologie UHV-DC è alla base del «conceptual China-India UHV-DC system», ovvero di un sistema per la valorizzazione delle risorse idroelettriche del plateau del Tibet nell'ambito del più ampio progetto asiatico di integrazione delle reti ad alta capacità.

In Europa le linee UHV-DC, anche se con portate e distanze inferiori rispetto a quelle cinese e indiana, sono operative nella trasmissione sottomarina di elettricità. La connessione da 500 chilovolt tra Sardegna e Italia continentale, in esercizio da cinque anni, è la più profonda tra i cavi sottomarini. Il progetto europeo «e-HIGHWAY 2050-Modular Development Plan of the Pan-European Transmission System 2050» ha di recente evidenziato il ruolo chiave delle line UHV-DC e di particolari convertitori di tensione, indicati con VSC, nel futuro energetico del nostro continente.

Secondo GEIDCO, l'interconnessione UHV-DC può essere la spina dorsale, la *backbone*, della decarbonizzazione dell'economia del pianeta, attraverso la valorizzazione delle tecnologie pulite e del potenziale delle fonti rinnovabili. La continuità delle reti UHV-DC, associata allo stoccaggio dell'energia prodotta dall'acqua, dal Sole o dal vento, permetterà di veicolare e distribuire l'elettricità prodotta dalle rinnovabili, anche se generata in località remote o prodotta in eccesso nei mercati locali. In altre parole, l'elettricità prodotta dalle fonti rinnovabili in Tibet o nel Sahara, per esempio, o ancora nel Mare del Nord o nella regione artica, in Africa meridionale o in Brasile, può sostituire progressivamente quella prodotta con i combustibili fossili, come già avviene in Europa o in Cina, sostenere la penetrazione efficiente dell'elettricità negli usi finali e accendere la luce nelle zone del pianeta dove 3 miliardi di persone hanno accesso precario all'elettricità o non vi hanno affatto accesso.

Energia e politica

La Global Energy Interconnection è la prima proposta concreta di cooperazione tecnologica e industriale a scala globale per assicurare entro la metà del secolo l'accesso generalizzato all'elettricità e il dimezzamento delle emissioni di anidride carbonica rispetto ai livelli del 1990 (pari a 11,5 miliardi di tonnellate). Quindi sarà possibile ridurre il forcing radiativo, cioè la misura dell'influenza di un fattore nell'alterare il bilancio di energia in entrata e in uscita nel sistema Terra-atmosfera, della CO_2: questo gas potenzia l'effetto serra naturale, ed è una delle cause principali dell'aumento della temperatura media globale, come hanno dimostrato i rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change.

È evidente il forte significato politico del progetto che applica, in modo concreto ed evocativo, la politica cinese del *soft power* (creazione di consenso con la persuasione, non la coercizione) su scala globale, che è oggi il più importante fattore guida internazionale delle iniziative per lo sviluppo di molte regioni della Terra. Fin dal 2004 la Cina è impegnata nello sviluppo della *soft power policy* per supportare il ruolo globale del paese attraverso la cooperazione internazionale. Il rilancio della «Via della Seta» grazie all'iniziativa «One Belt, One Road», il cui obiettivo è una rete di infrastrutture di collegamento tra Asia ed Europa, unendo lo storico percorso della Via della Seta alla via marittima pensata nel XXI secolo, è un significativo e impegnativo programma per dare attuazione alla soft power policy; ed è previsto un impegno di investimenti per oltre 100 miliardi di dollari nelle infrastrutture dei paesi di Asia centrale, Africa, Medio Oriente ed Europa orientale.

L'Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB), a cui oggi ade-

L'interconnessione globale di tutte le reti di trasmissione dell'elettricità prodotta dalle fonti rinnovabili.

riscono 57 paesi, (tra i quali Australia, Francia, Germania, Regno Unito, India, Italia, Russia, Sudafrica) è stata promossa e sviluppata secondo i principi della soft power policy. È interessante a questo proposito la dichiarazione di Jin Liqun, presidente di AIBB, su «One Belt, One Road»: «Daremo sostegno al progetto, a condizione che sia socialmente accettabile, capace di promuovere la crescita economica nel pieno rispetto dell'ambiente». È il contesto in cui è stata lanciata la Global Energy Interconnection Development Cooperation Organization.

La via maestra

La tabella di marcia di GEIDCO prevede entro il 2020 di programmare e rafforzare le interconnessioni UHV-DC nei singoli paesi, anche attraverso progetti pilota dimostrativi; individuare su scala globale siti, infrastrutture e logistica per alimentare la rete elettrica con energia pulita e fonti rinnovabili, a partire dalla regione artica e da quella equatoriale; fare sostanziali passi avanti nelle tecnologie delle fonti rinnovabili e dello stoccaggio dell'energia e nella trasmissione sottomarina dell'elettricità.

Il 2020 è l'obiettivo attuale della Cina, paese leader sia negli investimenti per l'energia «pulita» (oltre 110 miliardi di dollari all'anno), sia nella realizzazione delle interconnessioni UHV con un programma in corso di circa 90 miliardi di dollari (13 linee UHV in esercizio per 16.920 chilometri, 9 in fase di realizzazione per 15.000 chilometri).

L'obiettivo per il 2030 è assicurare che le tecnologie pulite coprano almeno un terzo della domanda globale di energia (6000 milioni di tonnellate di petrolio equivalente), mentre la produzione di elettricità da fonti rinnovabili dovrebbe coprire il 50 per cento (10.000 terawattora) della produzione totale, e almeno 1000 terawattora di elettricità prodotta dal vento nella regione artica e dal Sole all'equatore dovrebbe essere trasmessa in altre regioni del pianeta.

Il Sole potrebbe giocare nella regione del Sahara lo stesso ruolo del petrolio nello sviluppo dell'Europa

Grazie allo sviluppo delle UHV-DC e smart grid, l'elettricità dovrebbe sostituire fino al 25 per cento dei combustibili fossili nei consumi finali (illuminazione, riscaldamento e raffreddamento, trasporto, produzione industriale). La realizzazione delle connessioni UHV continentali e intercontinentali permetterà di rendere progressivamente disponibile l'elettricità in tutte le regioni del pianeta, riducendo drasticamente i costi attuali. Secondo le stime di GEIDCO, il trasferimento con UHV-DC in Germania dell'elettricità prodotta dal vento in Cina costerà 0,12 dollari per chilowattora, la metà dei costi attuali dell'energia pulita per i consumatori tedeschi.

Infine, la *roadmap* di GEIDCO prevede entro il 2050 di assicurare l'80 per cento della sostituzione dei combustibili fossili con fonti rinnovabili (previsti 43.000 milioni di tonnellate di petrolio equivalente) della domanda globale di energia e la produzione di almeno il 90 per cento dell'elettricità con le fonti rinnovabili (previsti 18.000 terawattora). La penetrazione efficiente dell'elettricità dovrebbe raggiungere il 50 per cento della sostituzione dei combustibili fossili negli usi finali. Questo obiettivo è strettamente legato al completamento delle connessioni UHV-DC continentali e intercontinentali e alla disseminazione delle smart grid per la distribuzione locale.

GEIDCO ha stimato che le iniziative industriali per lo sviluppo, l'installazione e la gestione degli impianti di generazione, la trasmissione UHV-DC e la distribuzione con smart grid potranno muovere investimenti dell'ordine di 50.000 miliardi di dollari. È una cifra non lontana da quella stimata dall'International Energy Agency per adeguare il sistema energetico globale agli obiettivi dell'accordo di Parigi sul clima del 2015, che prevedono entro questo secolo di contenere l'aumento della temperatura media della Terra entro 2 gradi rispetto ai livelli preindustriali.

Una rete per l'energia

La sfida del progetto è lo sviluppo di una rete interconnessa di linee «supercritiche», in grado di trasmettere in tempo reale da un punto all'altro del pianeta l'elettricità prodotta da un qualsiasi impianto indipendentemente dalla sua localizzazione, ovvero realizzare l'Internet globale dell'energia. Sono in corso molte iniziative e molti progetti, sia di istituzioni scientifiche che di imprese, per aumentare, da un lato, la capacità e velocità di trasmissione e, dall'altro, ridurre l'impatto ambientale delle linee UHV-DC.

Allo stesso tempo, ricerca e sviluppo sono concentrati sui sistemi efficienti di conversione dell'elettricità dalle linee UHV alle reti locali, che possono assicurare la continuità della trasmissione di elettricità, in particolare nel caso di sorgenti discontinue come le fonti rinnovabili, e la stabilità dell'alimentazione delle smart grid nelle aree urbane. Proprio su questi temi è in corso il progetto europeo PROMOTioN, al quale partecipano 34 partners di 11 paesi, tra cui l'italiana Prysmian, finanziato nell'ambito di Horizon 2020, il programma quadro dell'Unione Europea per ricerca e innovazione nel periodo 2014-2020.

La trasmissione dell'elettricità prodotta da fonti rinnovabili da zone remote del pianeta ad aree densamente popolate richiede, oltre alle reti UHV, anche tecnologie per lo stoccaggio dell'energia prodotta da Sole e vento per garantire la continuità della trasmissione anche in assenza di Sole e vento. L'innovazione tecnologica promossa dal progetto accelera, come già avviene in Cina, lo sviluppo di batterie per l'accumulo, il *solar thermal storage* associato agli impianti a concentrazione solare e la produzione di idrogeno come vettore energetico.

Il block-chain

L'associazione della continuità della trasmissione dell'elettricità prodotta dalle fonti rinnovabili con la distribuzione attraverso smart grid e *microgrid*, oltre a un significativo incremento dell'efficienza negli usi finali, è anche la premessa per una trasformazione dei mercati elettrici. L'applicazione delle tecnologie digitali alla rete, che diventa «smart», getta le premesse per un'ulteriore trasformazione dei mercati della distribuzione elettrica, in modo analogo a quanto avvenuto in altri settori. Assisteremo a breve alla nascita di nuovi modelli di business? L'evoluzione delle tecnologie *block-chain* sembra puntare in questa direzione.

Block-chain è una tecnologia *peer-to-peer* (pari a pari), che permette a ogni computer collegato a una rete locale, al pari di tutti gli altri, di scambiarsi file senza un'unità di controllo. La tecnologia garantisce e protegge l'integrità di blocchi di informazioni digitali aggiornate in tempo reale, attraverso la creazione di banche dati distribuite e sostanzialmente inalterabili. Block-chain può essere usato ovunque vi sia bisogno di registrare e verificare transazioni aventi un contenuto economico. Le applicazioni sono molte: identità digitali, contratti virtuali, criptovalute, sistemi di voto elettronico, registri di dati medico-sanitari e così via.

L'interconnessione Nord Africa, Arabia, Medio Oriente, Europa per la trasmissione dell'energia prodotta da Sole (DESERTEC), vento, acqua e geotermia.

Potenzialmente l'applicazione delle tecnologie block-chain ai mercati elettrici potrà indurre, come sta già avvenendo in alcuni progetti pilota realizzati in Australia (anche con la collaborazione di SGCC), alla creazione di nuovi mercati aperti di interscambio che prescindono dalla funzione di regolatore che oggi è delle *utility*. In questo nuovo mondo, resta forte ed economicamente indispensabile solo la rete, l'infrastruttura.

Ritorno a DESERTEC?

Global Energy Interconnection rilancia inoltre l'iniziativa DESERTEC. Poco dopo il disastro dell'impianto nucleare di Chernobyl, nel 1986, il fisico teorico tedesco Gerhard Knies aveva ricordato che i deserti ricevono dal Sole, in poche ore, abbastanza energia da coprire la domanda globale di elettricità per un anno. La sfida non è tanto produrre l'elettricità, quanto stoccarla e trasmetterla nella rete globale interconnessa.

Avviata su impulso di importanti gruppi industriali e finanziari europei (tra cui Siemens, ABB, E.ON, RWE, Munich Re, Albengoa, Deutsche Bank, EDF, ENEL) a metà dello scorso decennio, DESERTEC era finalizzata a sfruttare l'enorme potenziale del Sole nei deserti del Sahara e della penisola araba per la produzione di elettricità da trasmettere alla rete elettrica europea attraverso l'interconnessione Africa-Europa. L'iniziativa si è arenata sia per le crisi politico-militari del Nord Africa sia per il ridotto interesse delle imprese europee a causa della diminuzione dei consumi energetici dopo la crisi economica. Ma ritorna attuale nel contesto globale del progetto GEIDCO. E nello schema di DESERTEC ritornano d'attualità le interconnessioni Montenegro-Italia e Tunisia-Sicilia, entrambe obiettivo di riferimento della cooperazione ambientale ed energetica dell'Italia nel Mediterraneo nel 2005-2014, e lo sviluppo del solare termodinamico a concentrazione, per la produzione e lo stoccaggio dell'energia solare, basato un sistema di specchi.

Mentre il collegamento con il Montenegro con cavo sottomarino UHV-DC è in corso di realizzazione, l'interconnessione Tunisia-Sicilia è rimasta «al palo» nonostante l'accordo bilaterale del 2009. Recentemente il progetto è stato rilanciato in Italia dalla ministra tunisina dell'energia, Hela Cheikhrouhou, anche con il supporto della Banca Mondiale.

Nello schema di interconnessioni verdi si colloca il progetto Noor («luce», in arabo) in corso di realizzazione a Ouarzazate, a sud di Marrakech, in Marocco. Qui, dal febbraio 2016 è in funzione la prima delle quattro centrali solari a concentrazione previste nel quadro di un megaprogetto energetico cofinanziato dalla Banca Mondiale. Al suo completamento, previsto nel 2020, Noor produrrà 580 megawatt, pari all'elettricità consumata da 1,3 milioni di persone. Noor può essere il prototipo di progetti simili in Nord Africa e Sahara, destinati alla generazione di elettricità per lo sviluppo regionale e il trasferimento alle reti europee.

In occasione dell'inaugurazione della prima centrale solare a concentrazione, Hakima El Haite, ministra dell'ambiente del Marocco, aveva affermato in un'intervista al britannico «The Guardian» che il Sole potrebbe avere nella regione del Sahara lo stesso ruolo che il petrolio ha avuto per lo sviluppo dell'Europa.

Un'occasione per l'Italia

Nel 2001 il fisico Carlo Rubbia, allora presidente dell'ENEA, aveva promosso con il Progetto Archimede l'industrializzazione di una sua scoperta per l'aumento di efficienza e di energia prodotta negli impianti del solare termodinamico a concentrazione. La tecnologia dei sali fusi di Rubbia è ancora oggi la più avanzata disponibile per la valorizzazione dell'energia solare.

L'interconnessione tra Tunisia e Italia è la dorsale dell'integrazione delle reti africane con quelle europee, e l'Italia può essere la «piattaforma logistica» europea di DESERTEC. Solare termodinamico a concentrazione e interconnessione Europa-Africa: due buoni motivi per una partecipazione attiva dell'Italia al progetto GEIDCO. Anche perché State Grid Corporation of China ha il 30 per cento di TERNA, il gestore della rete elettrica italiana. ■

PER APPROFONDIRE

Electricity Now Flows Across Continents, Courtesy of Direct Current. In «The Economist», 14 gennaio 2017.

China's Embrace of a New Electricity-Transmission Technology Holds Lessons for Others. In «The Economist», 14 gennaio 2017.

White Paper on Global Energy Interconnection. GEIDCO, Pechino, 2017.

Energia dall'Africa, un affare (anche per noi) da 100 miliardi l'anno. Rendina F. in «Il Sole 24 Ore», 21 maggio 2017.

Advanced Technologies for Future Transmission Grids. Migliavacca G. (a cura di), Springer, 2013.

Modular Development Plan of the Pan-European Transmission System 2050. Consorzio e-Highway2050: **http://www.e-highway2050.eu/e-highway2050.**

Infografica di Danilo Sossi

CONSERVAZIONE

Il commercio di fauna selvatica da destinare al mercato domestico potrebbe diventare più importante della perdita di habitat nella scomparsa di biodiversità

di Richard Conniff

AMORE MORTALE

Il mercato di animali di Jatinegara a Jakarta, in Indonesia, vende grilli in canne di bambù (*al centro*), e una serie di uccelli e altri animali catturati illegalmente in natura.

Richard Conniff è giornalista scientifico, ha ricevuto premi per la sua attività professionale, scrive per riviste e collabora come opinionista per il «New York Times». Tra i suoi libri, *Cercatori di specie*, uscito anche in edicola con «Le Scienze» nell'ottobre 2011.

Nel 2012 David S. Wilcove, biologo ed esperto di conservazione, era in viaggio sull'isola di Sumatra per birdwatching, quando ha iniziato a notare che ciascuna casa di ogni villaggio visitato aveva all'esterno gabbie appese: ospitavano uccelli selvatici che si sarebbe aspettato di incontrare nella foresta.

In Indonesia una famiglia su cinque ha uccelli come animali domestici. La cosa lo aveva incuriosito: «Che effetto avrà sugli uccelli?». Per scoprirlo Wilcove, che insegna alla Princeton University, aveva deviato dall'itinerario per visitare il mercato degli uccelli di Pramuka, nella capitale Jakarta, il più grande mercato del Sudest asiatico per uccelli e altri animali selvatici, dai pipistrelli alle scimmie. «Sembrava un ipermercato – ricorda – con centinaia di banchi», ognuno dei quali era coperto da centinaia di uccelli. «Molti erano in condizioni pessime, con segni di malattia e penne sfilacciate, si muovevano svogliatamente o si dimenavano nelle gabbie perché tanti erano uccelli selvatici inadatti a vivere in gabbia». Alcuni erano di specie che nemmeno gli zoo con personale qualificato riescono a mantenere in cattività; sarebbero morti poco dopo l'acquisto. «È stata un'immagine sconvolgente. Non avevo mai visto niente di simile», commenta Wilcove.

In seguito il lavoro di Wilcove e colleghi ha mostrato un legame tra la domanda di uccelli sul mercato indonesiano e il declino di numerose specie in natura. Un loro studio del 2015 su «Conservation Biology» ha suggerito che il prezzo di mercato possa essere addirittura un campanello d'allarme su un declino di specie che potrebbe emergere da studi sul campo solo molti anni dopo, o non emergere mai: quando il prezzo medio per lo shama groppabianca, una specie molto usata in Indonesia nei concorsi per uccelli canori, è aumentato del 1500 per cento dal 2013 al 2015, è stato come se i biologi avessero ricevuto un avvertimento sul fatto che questi uccelli stavano scomparendo in natura.

Studi successivi condotti in Indonesia da Bert Harris, coautore del lavoro del 2015 e oggi al Rainforest Trust, in Virginia, non hanno trovato shama groppabianca nemmeno in habitat apparentemente intatti dove dovrebbero prosperare, come foreste a cinque chilometri dalle strade più vicine. Gli acquirenti pagavano prezzi elevati per le vulnerabili popolazioni insulari, di cui molte oggi riconosciute come specie distinte ma apprezzate dai collezionisti per caratteristiche insolite come code lunghe o canti unici. Il commercio di animali domestici ha «il potenziale di spingere le specie all'estinzione anche quando hanno habitat idonei e di farlo senza che nessuno ne sia consapevole», osserva Wilcove.

Il problema non riguarda solo gli uccelli. Né è limitato all'Indonesia o ad altri paesi in via di sviluppo. Il commercio di animali esotici è guidato almeno in uguale misura dalla domanda dei collezionisti statunitensi ed europei. Secondo alcune stime, gli acquari degli Stati Uniti, per esempio, sono il capolinea per circa 11 milioni tra pesci e altre creature marine rimossi dalle barriere coralline ogni anno. I contrabbandieri statunitensi importano ogni

IN BREVE

Gli esperti di conservazione hanno tradizionalmente considerato la perdita di habitat come la principale minaccia per la biodiversità.

Il commercio di animali esotici sta diventando però una causa fondamentale della scomparsa di fauna selvatica in tutto il mondo.

Buona parte della domanda di animali catturati in natura arriva da collezionisti degli Stati Uniti e dell'Europa.

Pagine precedenti: Mark Leong/Redux Pictures
Questa pagina: Alamy (*loris*); Getty Images (*pappagalli*)

Gli animali selvatici sono prelevati a milioni per il commercio di specie esotiche. Spesso sono venduti illegalmente in mercati locali o contrabbandati all'estero. Molti di loro muoiono in viaggio per via delle cattive condizioni.

Bullit Marquez/AP Photo (*serpenti*); Subhendu Sarkar/Getty Images (*uccelli in gabbia*)

anno 225 milioni di animali vivi, e nei primi 14 anni di questo secolo ne hanno fatti arrivare più di 3 miliardi, secondo uno studio pubblicato su «EcoHealth». Nonostante la convinzione che l'amore per gli animali domestici sia uno degli aspetti più nobili della natura umana, i ricercatori suggeriscono che sia ormai una forza importante in quella che chiamano defaunazione, la scomparsa della fauna selvatica da habitat di ogni genere, quasi ovunque.

Oltre la perdita di habitat

Per decenni gli esperti di conservazione hanno rimarcato il ruolo chiave della distruzione degli ecosistemi nella perdita di biodiversità. Ma il commercio di animali selvatici è in piena espansione e sono più le specie catturate per soddisfare la domanda internazionale di animali domestici che per qualsiasi altro scopo; tutto questo causa preoccupazione. «L'idea che la perdita di habitat sia la più seria minaccia per la sopravvivenza delle specie è messa in discussione», afferma Crawford Allan di TRAFFIC, la rete di monitoraggio sul traffico di specie selvatiche nata dalla collaborazione tra WWF e International Union for the Conservation of Nature (IUCN). «Certe specie hanno habitat in abbondanza, ma svaniscono comunque dal loro ambiente a ritmi allarmanti».

La domanda di specie rare ha reso il commercio di animali da compagnia una fonte di particolare preoccupazione tra i conservazionisti. La «Red List IUCN delle specie minacciate» include già molte specie spinte sull'orlo dell'estinzione dalla cattura per il commercio: tra queste ci sono uccelli (come lo storno di Bali e l'ara di Spix, sudamericana), un primate (il loris lento della Sonda, del Sudest asiatico), pesci ornamentali (l'asiatico *Sahyadria denisonii*) e rettili (la testuggine raggiata e la testuggine dal vomere, entrambe del Madagascar). E queste per citare solo le specie ben studiate, secondo Wilcove e Harris. Per la stragrande maggioranza dei vertebrati venduti in mercati e negozi di animali, i ricercatori hanno appena cominciato a valutare come il commercio di animali da compagnia influenzi le popolazioni selvatiche.

Gli studi sul campo procedono con inevitabile lentezza, ma il mercato di animali domestici può muoversi con velocità devastante e imprevedibile. In un celebre caso degli anni novanta i ricercatori avevano pubblicato la prima descrizione scientifica della tartaruga collo di serpente di Roti, includendo i dettagli su dove vive, un'isola nel sud dell'Indonesia. I collezionisti vi si sono avventati, e la specie è ormai in pericolo critico. Alla luce di questa lezione, i biologi hanno tenuto per sé i dati geografici precisi quando nel 2011 hanno descritto la nuova vipera di Matilda, una specie degli altopiani della Tanzania meridionale. Ma i trafficanti hanno messo i serpenti sul mercato quello stesso anno a più di 500 dollari l'uno, secondo uno studio sul commercio europeo dei rettili pubblicato nel 2016 su «Biological Conservation».

Trafficanti e collezionisti giustificano la vendita di fauna selvatica da compagnia con il pretesto della conservazione, osserva uno studioso del commercio di rettili che ha chiesto l'anonimato: «Sostengono che mantengono popolazioni di scorta, o che l'habitat naturale è in via di distruzione e quindi proteggono gli animali. Nella grande maggioranza dei casi non è vero». Questa persona afferma invece che è il commercio di animali a decimare molte popolazioni selvatiche.

Per esempio la testuggine dal vomere, specie in pericolo critico dal carapace dorato, vive solo nel Parco nazionale della baia di Baly, nel nord-ovest del Madagascar. Lo sfruttamento commerciale è bandito dal 1975 dalla Convenzione sul commercio internazionale delle specie minacciate di estinzione (CITES) e i conservazionisti avevano lavorato per decenni per riportare la popolazione in natura a circa 600-800 esemplari. Ma negli ultimi cinque anni un aumento del bracconaggio per rifornire i collezionisti ha ridotto la popolazione della baia di Baly a meno di 100 adulti. In paesi come Thailandia, Indonesia e Cina, che tendono a rispettare le regole CITES sulla carta ma non nella pratica, gli speculatori hanno spinto il prezzo per un grande adulto fino a 100.000 dollari.

La speculazione finanziaria è stata la motivazione che nel 2015 ha portato un uomo d'affari cinese a pagare oltre 200.000 dollari per una tartaruga cinese collo rosso, una specie della Cina meridionale ritenuta estinta in natura. «Più una specie si fa rara e vicina all'estinzione, più i contrabbandieri la promuovono come una questione di affari, più alti sono i prezzi», dice Rick Hudson, erpetologo e presidente della statunitense Turtle Survival Alliance.

Gli stessi attori che alimentano il commercio di parti di animali selvatici, dai corni di rinoceronte alle pelli di coccodrillo, alimentano anche il commercio di animali vivi. «Molte persone che un tempo erano trafficanti per la medicina tradizionale stanno cambiando settore, perché in Cina il commercio degli animali esoti-

ci di lusso è cresciuto immensamente», e ha fatto salire alle stelle i prezzi in Europa e negli Stati Uniti, spiega Brian Horne, erpetologo della Wildlife Conservation Society. È coinvolta anche la malavita, che prende di mira le strutture di allevamento in cattività costruite dagli ambientalisti per ricostituire popolazioni di specie in pericolo. I ladri si sono infiltrati in una di queste strutture l'anno scorso in Thailandia e hanno rubato sei testuggini dal vomere e 72 tartarughe raggiate. Anche i collezionisti sono nel mirino dei criminali. Lo scorso anno, per esempio, in una casa privata di Hong Kong i ladri sono entrati, arrampicandosi sulle grondaie e aggirando le telecamere di sicurezza, per rubare 23 tartarughe in via di estinzione del valore complessivo di circa 116.000 dollari.

Processare le persone dietro al traffico di animali selvatici può rallentare lo svuotamento degli habitat naturali. Nel 2016 un giudice ha condannato a due anni di carcere un uomo della Pennsylvania che voleva esportare tartarughe di foresta nordamericane, una specie minacciata. Per gli agenti, John Tokosh aveva prelevato 750 tartarughe da un'area a sud di Pittsburgh e le aveva vendute per 400 dollari l'una a intermediari che rifornivano il commercio di animali a Hong Kong. L'inchiesta ha portato in carcere anche un dipendente delle poste in Louisiana e complici a Chicago e in California.

Ma i procedimenti penali sono rari. La portata enorme del commercio di animali finisce per subissare gli ispettori che lavorano per individuare il contrabbando. «Facciamo molti blitz, ed è un vero ago in un pagliaio», ha dichiarato un ispettore dello U.S. Fish and Wildlife Service, non nominato perché non autorizzato a parlare con la stampa. «Abbiamo tutti gli strumenti. Abbiamo ottenuto più attrezzature e più personale. Abbiamo una grande unità di intelligence. Solo che sembra di stare sempre dietro alla palla magica. Appena arriviamo a capire qualcosa, cambia tutto.» Un contrabbandiere era riuscito a portare un orangutan nel paese rasandogli la pelliccia, tingendolo di marrone e mettendolo in mezzo a una spedizione legale di gibboni.

Alcune tartarughe protette provenienti dal Madagascar sequestrate ai trafficanti da agenti doganali in Malaysia.

E la sola varietà di specie in commercio rende improbabile la rilevazione. «Non c'è nessuno là fuori che conosca tutti gli uccelli», spiega Eric Goode, fondatore di Turtle Conservancy di New York. «Prendiamo i pesci tropicali, se uno non è il migliore ittiologo del mondo, non sa come identificare tutte quelle specie. Nel caso delle tartarughe e delle testuggini ci sono solo 340 specie», ma un ispettore non distingue una tartaruga stellata di Myanmar da una indiana, o una tartaruga dal guscio molle da un'altra. CITES può anche vietare il commercio di una tartaruga o di un pappagallo in pericolo critico, aggiunge, ma ai trafficanti «basta etichettarli come una varietà più comune» per proseguire il loro business.

Catturare o allevare?

Goode e altri sostengono che se il commercio di animali esotici avesse a cuore la conservazione i fornitori dovrebbero smettere di prelevare gli animali in natura e concentrarsi sull'allevamento in cattività. «A un certo punto bisogna passare dal dire al fare. Fermiamo l'importazione di fauna selvatica, l'importazione di uccelli selvatici, di tartarughe russe», una specie dell'Asia centrale in vendita nei negozi di animali statunitensi. «Basta entrare in uno di quei capannoni per vedere i livelli sconcertanti di mortalità che hanno ogni giorno. Perché dovremmo avere bisogno di questo flusso continuo di animali catturati in natura?».

L'allevamento in cattività, suggerisce Wilcove, potrebbe essere la risposta al commercio di uccelli in Indonesia, dove molte famiglie già allevano pappagallini inseparabili nati in cattività. Un programma per aumentare la disponibilità di parrocchetti, canarini e altre specie economiche e adatte alla vita domestica potrebbe convincere le persone che «non c'è bisogno di avere uno shama o di acquistare uno di questi uccelli selvatici che non sono adatti a vivere in gabbia». Da bambino usava una registrazione del «Pavarotti del mondo canarino» per insegnare a cantare al suo canarino. «Non c'è motivo per cui i canarini non possano diventare ottimi competitori» nei concorsi canori indonesiani, dice Wilcove.

Ma l'allevamento in cattività può essere più difficile di quanto sembri. Nel 2014 EcoHealth Alliance, un'organizzazione di New York, ha istituito il sito web EcoHealthy Pets per informare i consumatori sulle scelte migliori e peggiori riguardo agli animali esotici. L'elenco sottolinea che l'allevamento in cattività è un modo per ridurre sia i rischi per la salute sia la pressione sul mondo naturale. Ma la mancanza di sostegno economico per espandere il programma ha finora limitato l'elenco a sole 52 specie, neanche lontanamente sufficienti per soddisfare anche molti hobbisti alle prime armi.

L'industria degli animali esotici ha un atteggiamento ambivalente su un impegno generale per l'allevamento in cattività, anche perché nessuno ha capito come riprodurre molte specie apprezzate come animali domestici. E anche quando lo si capisce si può scoprire che portare un animale all'età adulta costa molto più che catturarlo in natura. Quando per esempio gli allevatori di animali marini, un settore redditizio, hanno trovato il modo per allevare i coloratissimi pesci mandarino, «il mercato di massa non era disposto a pagare 40 dollari per un pesce allevato in cattività quando ne potevano avere uno selvatico per 12», si è lamentato l'allevatore Scott Fellman. «Dobbiamo vergognarci, come hobbisti, per non fare di più per sostenere sforzi come questo».

Per complicare ulteriormente la faccenda, molte sedicenti strutture di allevamento riforniscono il loro stock dalla natura, e potrebbero quindi servire solo come luoghi di riciclaggio del prelievo degli animali selvatici dai loro habitat. Per esempio, le esportazioni di buceri di Blyth ufficialmente allevati in cattività «superano di gran lunga i numeri che gli allevamenti possono mantenere o produrre, considerato il basso tasso riproduttivo della specie», ha dichiarato la genetista Laura Tensen, dell'Università di Johannesburg, in un'indagine sull'allevamento della fauna selvatica pubblicata nel 2016 in «Global Ecology and Conservation». Allo stesso modo, molte specie di rane e camaleonti sono economicamente inadatte ai programmi di allevamento per via del basso successo

Manan Vatsyayana/Getty Images

STUDIO

Il prezzo della rarità

La domanda di uccelli nei mercati di animali in Indonesia danneggia le popolazioni di alcune specie in natura, ma la portata di questo impatto è incerta. Monitorare il declino delle popolazioni selvatiche con studi sul campo ha però costi proibitivi. A questo scopo, uno studio di David S. Wilcove, della Princeton University, e colleghi ha rilevato che i dati di mercato possono identificare specie a rischio a un costo di gran lunga inferiore. Un aumento del prezzo di mercato e un calo del volume commerciale possono essere segnali del fatto che una specie è in declino in natura.

Fonte: *Using Market Data and Expert Opinion to Identify Overexploited Species in the Wild Bird Trade*. Harris J.B.C. e altri, in «Biological Conservation», Vol. 187, luglio 2015. Elaborazione grafica di Amanda Montañez

riproduttivo in cattività. Però, nota Tensen, «sono in vendita come animali domestici a migliaia, spacciati come allevati in cattività».

Anche se i commercianti trovassero il modo di allevare in cattività tutte le specie che le persone desiderano avere in casa, non tutti gli scienziati pensano che dovrebbero. Quando hanno svolto un'indagine sul commercio dall'Indonesia di pitoni verdi, tutti ufficialmente provenienti da uno stock di allevamento, gli erpetologi australiani Daniel Natusch e Jessica Lyons hanno scoperto che molte strutture non avevano idea di come allevare con successo i rettili. Alcune non avevano neppure i locali dove allevarli. I due ricercatori hanno stimato che l'80 per cento di questi serpenti esportati per il commercio sono catturati in natura. Ma il commercio di pitoni verdi catturati aveva una parvenza di sostenibilità per via dell'abbondanza di questi serpenti in natura.

In casi del genere, dice Natusch, ai fini della conservazione il commercio di fauna selvatica può essere più utile dell'allevamento: «Si possono convincere le persone del posto a proteggere gli habitat. Se il prelievo avviene in maniera sostenibile, si ricava un guadagno dalla foresta, e non si devono abbattere gli alberi».

Natusch, che lavora come consulente dell'IUCN, sa bene che gli esportatori fanno spesso cose orribili per il commercio, per esempio stipando i serpenti in valigie e in bottiglie di plastica per sfuggire ai controlli doganali. Concorda anche sul fatto che prelevare serpenti da popolazioni endemiche limitate a singole isole o montagne possa costituire una minaccia per la loro sopravvivenza. Ma il problema dell'allevamento in cattività è, a suo parere, che una volta che si prelevano quegli animali in natura si toglie definitivamente al commercio ogni valido motivo per avere a cuore l'habitat naturale. Al contrario, continua Natusch, il commercio illegale di pitoni verdi dell'arcipelago indonesiano di Raja Ampat ha motivato gli abitanti dell'isola a mantenere intatte le loro foreste. (Una rara variante gialla rende il commercio di serpenti particolarmente redditizio in quell'area.)

Domanda e offerta

I collezionisti di specie rare sono spesso convinti di fare «qualcosa di splendido per gli animali», rimuovendoli dalla natura e proteggendoli da fame, predazione e altre minacce naturali. Lo dice Tom P. Moorhouse, biologo conservazionista dell'Università di Oxford e primo autore di uno studio del 2016 sugli atteggiamenti dei consumatori rispetto agli animali esotici, pubblicato su «Conservation Letters». Dice inoltre che gli acquirenti tendono a dare per scontato che «le loro responsabilità etiche siano state già assolte nel momento in cui l'animale ha raggiunto il mercato». Non è così. «Abbiamo bisogno di una campagna per convincere le persone che le cose stanno diversamente e che le loro scelte hanno un effetto enorme» aggiunge Moorhouse. «Se non ci fosse domanda, se non ci fosse mercato per la fauna esotica selvatica, non avrebbe senso pagare qualcuno per catturare gli animali».

L'industria degli animali domestici deve ancora aprire gli occhi su come il commercio incida sulle popolazioni selvatiche. Questo non vuol dire che non abbia a cuore la conservazione, insiste Mike Bober, presidente dello statunitense Pet Industry Joint Advisory Council. «Siamo convinti che nella maggior parte di queste comunità il prelievo in natura e l'allevamento possano coesistere; ciò che conta sono i metodi usati per la raccolta. Quando gli animali sono prelevati in modo sostenibile e in particolare quando a farlo sono popolazioni indigene che dipendono dal prelievo per il sostentamento, ne siamo orgogliosi. Quando sono prelevati male è un problema per il nostro settore. Per avere animali in salute dipendiamo da ecosistemi in salute, senza animali in salute non c'è un commercio sano».

Ma gli ecosistemi in salute sono rari nell'era umana, e non esistono standard adeguati per il prelievo sostenibile. Prima o poi gli appassionati di animali esotici e il mercato dovranno guardare in faccia la realtà e sviluppare modi migliori di procurarsi gli animali in un mondo in cui boschi, oceani e altri habitat sono in riserva. ■

PER APPROFONDIRE

Wildlife Laundering through Breeding Farms: Illegal Harvest, Population Declines and a Means of Regulating the Trade of Green Pythons (*Morelia viridis*) from Indonesia. Lyons J.A. e altri, in «Biological Conservation», Vol. 144, n. 12, pp. 3073-3081, dicembre 2011.

Defaunation in the Anthropocene. Dirzo R. e altri, in «Science», Vol. 345, pp. 401-406, luglio 2014.

Using Market Data and Expert Opinion to Identify Overexploited Species in the Wild Bird Trade. Harris J.B.C. e altri, in «Biological Conservation», Vol. 187, luglio 2015.

Under What Circumstances Can Wildlife Farming Benefit Species Conservation? Tensen L., in «Global Ecology and Conservation», Vol. 6, pp. 286-298, aprile 2016.

Do Not Publish. Lindenmayer D. e Scheele B., in «Science», Vol. 356, pp. 800-801, maggio 2017.

Information Could Reduce Consumer Demand for Exotic Pets. Moorhouse T.P. e altri, in «Conservation Letters», Vol. 10, n. 3, pp. 337-345, maggio-giugno 2017.

The Galápagos Tortoise Next Door. Cirino E., in ScientificAmerican.com, pubblicato on line il 23 aprile 2017.

Cortesia JPL e Space Science Institute

PLANETOLOGIA

CASSINI SU SATURNO

La storica missione di esplorazione del pianeta degli anelli, senza precedenti per ampiezza e spettacolarità, è giunta alla fine

di Carolyn Porco

Una volta, quando Saturno è alto nel cielo e la notte è limpida e buia, dategli un'occhiata attraverso un telescopio amatoriale. Quando vi sarete saziati della maestosità e della bellezza del pianeta, cercate in rete le immagini inviate dalla sonda spaziale Cassini nel corso degli ultimi 13 anni della sua missione intorno a questa meraviglia cinta da anelli.

Carolyn Porco, planetologa dello Space Science Institute di Boulder, in Colorado, ha guidato la squadra di imaging della missione Cassini. Il suo lavoro è sostenuto da un generoso finanziamento di un'anonima fondazione di una famiglia californiana.

Ne rimarrete senz'altro colpiti: quanta distanza abbiamo percorso, come siamo diventati abili come esploratori interplanetari e che impresa straordinaria è stata familiarizzare con un mondo lontano come Saturno.

Nel momento in cui scrivo, la fine delle orbite di Cassini attorno a Saturno è prevista per il 15 settembre: riceverà il comando di tuffarsi in picchiata nell'atmosfera del pianeta e sarà incenerita in una palla di fuoco per essere sicuri che non possa colpire accidentalmente, e rischiare di contaminare, una luna di Saturno che potrebbe ospitare condizioni adatte alla vita [la manovra è stata effettuata senza intoppi e la missione si è conclusa come previsto, N.d.R.].

Come direttrice della squadra di imaging della missione, insieme a molti colleghi di entrambi i lati dell'Atlantico ho cominciato a lavorare su Cassini alla fine del 1990, quando non era altro che un'idea. L'ho seguita nel processo di progettazione e costruzione, ho assistito al lancio da Cape Canaveral il 15 ottobre 1997, ho atteso il suo viaggio di sette anni fino a Saturno e ho avuto un posto in prima fila quando nel 2004 ha raggiunto la destinazione finale. È stato allora che Cassini ha cominciato a rivoluzionare quello che sappiamo di Saturno e di ciò che lo circonda.

Nessuna missione ha mai esplorato un sistema planetario ricco come quello di Saturno così a fondo e per così tanto tempo. Sulla sua luna Titano abbiamo trovato mari di idrocarburi e un ambiente di superficie la cui complessità può competere con quella della Terra. Abbiamo osservato la meteorologia dell'atmosfera di Saturno e abbiamo assistito alla nascita, all'evoluzione e alla morte di tempeste gigantesche. Abbiamo visto nei suoi anelli nuovi fenomeni che raccontano i processi delle fasi iniziali della formazione dei sistemi planetari, compreso il nostro. Come gli antichi cartografi, abbiamo mappato le lune di Saturno per gli esploratori futuri e scoperto nuove lune, tra cui un'intera classe di piccoli oggetti immersi all'interno degli anelli. E poi c'è quella che considero la più profonda scoperta di Cassini: al polo sud della luna Encelado ci siamo imbattuti in geyser che spuntano da un oceano sotterraneo che potrebbe ospitare organismi extraterrestri.

Vista ravvicinata

La necessità di un esame approfondito e completo del sistema di Saturno divenne evidente nei primi anni ottanta, dopo i sorvoli del pianeta da parte delle due sonde Voyager. Questi eventi memorabili segnarono l'inizio della storia dell'esplorazione umana di Saturno, dando al pianeta una dimensione e una personalità, ma lasciando anche domande in cerca di risposta. Le Voyager scoprirono che Saturno è un pianeta con un interno complesso, un'atmosfera e una magnetosfera. Nei suoi anelli – un vasto, scintillante disco di detriti ghiacciati – registrarono segni degli stessi meccanismi fisici alla base del sistema solare primordiale e di dischi simili di materiale attorno ad altre stelle. Il passaggio delle sonde Voyager attraverso il sistema interno di Saturno rivelò diverse lune che esercitano forze dinamiche. Titano, il più grande satellite di Saturno, la cui superficie era rimasta invisibile per via della foschia fitta e onnipresente, incuriosì gli osservatori facendo pensare a un possibile oceano di idrocarburi liquidi. Complessivamente il sistema di Saturno sembrò una meta ideale per studiare approfonditamente molti dei processi ritenuti importanti per la formazione, l'evoluzione e le dinamiche attuali dei sistemi planetari – il nostro e altri – e forse perfino per l'origine della vita.

Cassini è stata un'impresa internazionale, guidata dalla NASA e dall'Agenzia spaziale europea (ESA) e progettata per essere un progresso significativo rispetto alle Voyager da ogni punto di vista. Più grande delle Voyager – più o meno delle dimensioni di uno scuolabus – era dotata dei più sofisticati strumenti scientifici mai portati nel sistema solare esterno. E trasportava la sonda Huygens, una navicella larga 4 metri e munita di sei strumenti, che si è posata sulla superficie di Titano.

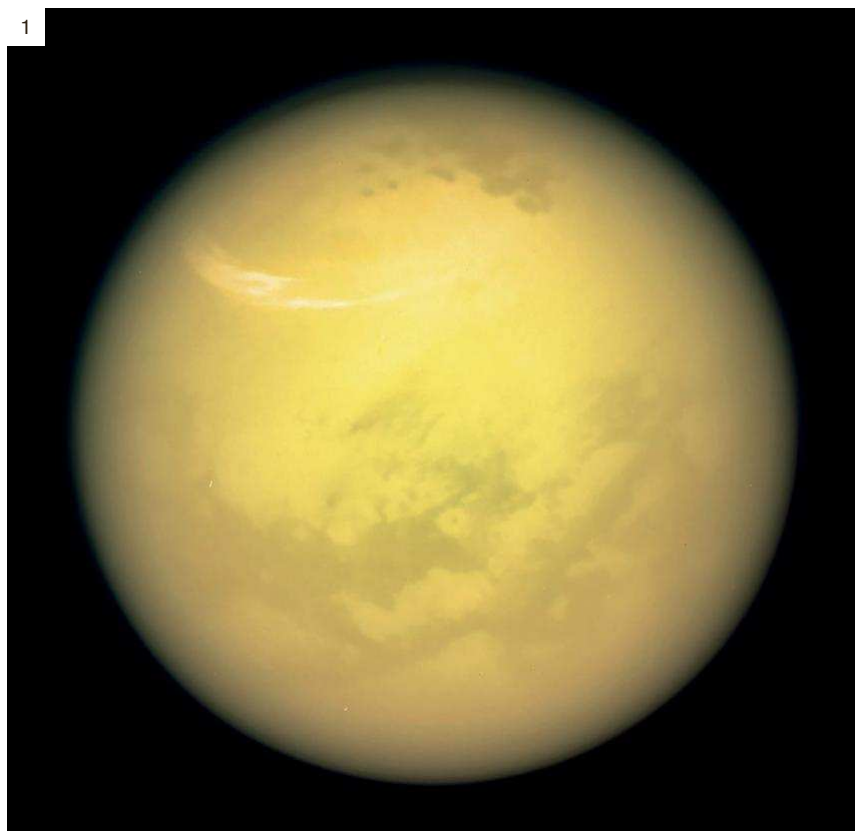
Dopo aver attraversato il sistema solare, Cassini entrò nell'orbita di Saturno il 1° luglio 2004. La sua traiettoria intorno al pianeta è stata complessa ma precisa, dispiegandosi nel corso dei suoi 13 anni di missione come i petali di un fiore che si apre. Per osservare da vicino tutto il sistema interno di Saturno, le sue orbite sono variate per dimensioni, inclinazione e orientamento. Abbiamo anche potuto modificarne le orbite per tornare a dare una seconda occhiata – in certi casi molte occhiate – a cose già scoperte.

IN BREVE

Dopo 13 anni in orbita attorno a Saturno, la sonda spaziale Cassini ha concluso a settembre la sua missione, eseguendo un tuffo pianificato nell'atmosfera del pianeta.

Nel corso del suo viaggio Cassini ha esaminato l'atmosfera, gli anelli e i satelliti di Saturno con un approfondimento senza precedenti. Nel 2005 ha anche lanciato la sonda Huygens, che è scesa sulla superficie della luna Titano.

Tra le tante scoperte, Cassini ha trovato laghi di metano su Titano e un oceano sotterraneo di acqua liquida nel satellite Encelado, che sfugge in superficie attraverso i geyser. Gli scienziati sospettano che questo mare sotterraneo possa ospitare forme di vita aliena.

Cassini ha anche scoperto altre caratteristiche sorprendenti, come montagne e piccolissime lune all'interno degli anelli di Saturno e un fenomeno che durante l'inverno rende azzurra l'atmosfera del pianeta.

Titano, la più grande luna di Saturno, risplende agli infrarossi (1) e incombe in lontananza (2) dietro la più piccola Encelado e gli anelli del pianeta.

Cortesia NASA, JPL-Caltech e Space Science Institute (*1 e 2*)

Prima dell'era spaziale, gli scienziati pensavano che le lune del sistema solare esterno fossero sfere di ghiaccio omogenee e morte dal punto di vista geologico. Le Voyager hanno dimostrato che era un'idea sbagliata; la missione Cassini consisteva nell'esaminare l'esercito di satelliti di Saturno e farci capire qualcosa della loro storia. In alcuni casi, queste storie si sono rivelate notevoli.

La durata stessa della permanenza di Cassini attorno a Saturno è stata fondamentale per il nostro successo. Un monitoraggio prolungato era l'unico modo per cogliere fenomeni imprevedibili come gli impatti di meteoriti sugli anelli. Inoltre le lente e costanti migrazioni orbitali delle sue lune e le modifiche alla sua atmosfera, dovute alle grandi variazioni stagionali nell'illuminazione solare, richiedono osservazioni su tempi il più possibile lunghi. In teoria, la missione era di quattro anni, e la sua fine era prevista il 30 giugno 2008. Ma i trionfi ottenuti fino ad allora e i chiari vantaggi di mantenere in attività uno strumento così produttivo ci hanno aiutato a far pressione per continuare la missione di Cassini. Abbiamo così ottenuto varie estensioni della missione, che ci hanno permesso per esempio di assistere alle rare condizioni di luminosità dell'equinozio di Saturno nell'agosto 2009, quando i raggi solari, cadendo da una bassa angolazione sugli anelli, hanno rivelato irregolarità che sporgono sopra il piano anulare e gettano lunghe ombre facilmente osservabili.

Le operazioni orbitali di Cassini sono terminate quasi mezzo anno di Saturno (cioè, 13 anni e due mesi e mezzo terrestri) dopo essere iniziate. Siamo arrivati poco oltre il colmo dell'estate meridionale del pianeta e la missione si è conclusa al colmo della sua estate settentrionale. Questo lasso di tempo ci ha consentito di compiere osservazioni nel corso di quasi un ciclo stagionale completo: abbiamo visto gli emisferi meridionali di Saturno e di Titano andare dall'estate all'inverno e gli emisferi settentrionali passare dall'inverno all'estate.

Le lune

Prendiamo Giapeto. L'origine del suo aspetto bicolore – un emisfero bianco come la neve e l'altro completamente nero – era un mistero. Dalle immagini ad alta risoluzione di Cassini abbiamo appreso che, anche a piccola scala, la luna è un misto pezzato di macchie scure e chiare. Le telecamere e lo strumento termico di Cassini ci hanno mostrato il motivo di questo aspetto: la variazione di colore a livello di emisferi e le chiazze locali sono provocate da un fenomeno termico fuori controllo che si trova solo su Giapeto con la sua lenta rotazione. Le regioni che inizialmente sono scure si riscaldano al punto di far sublimare il ghiaccio e diventano quindi ancora più scure e calde; le zone che iniziano bianche, invece, sono più fredde, e così è lì che si riversano i vapori sublimati. Nel corso del tempo, tutto il ghiaccio nella regione scura è scomparso e si è accumulato nelle zone bianche. Ma come ha fatto questo processo a coinvolgere un intero emisfero? Nella sua orbita intorno a Saturno, Giapeto si lancia attraverso una nube di materiale scuro e finissimo proveniente da Febe, uno dei satelliti irregolari esterni di Saturno. Questa nube rende scuro l'intero emisfero anteriore di Giapeto, mantenendolo più caldo e privo di ghiaccio. Mistero risolto.

Un'altra luna davvero notevole è Titano. Le telecamere di Cassini per la luce visibile e l'infrarosso vicino e il suo strumento radar, pensato specificamente per scrutare attraverso l'atmosfera senza alcuna attenuazione, sono riusciti a vedere attraverso la foschia di Titano. E nella prima parte della sua discesa nell'atmosfera di Titano, all'inizio del 2005, la sonda Huygens ha catturato per due ore e mezza immagini panoramiche e misurazioni della composizione atmosferica, della trasparenza, dei venti e della temperatura prima di posarsi sulla superficie della luna. Cassini ha scoperto che Titano è un mondo che sembra uscito dalla fantascienza, i cui panorami presentano strutture geologiche e caratteristiche atmosferiche riconoscibili, ma composte di sostanze inattese, dove l'aspetto dei luoghi è familiare, ma la sensazione che danno no.

Titano ha laghi e mari non di acqua, ma di metano liquido. Al

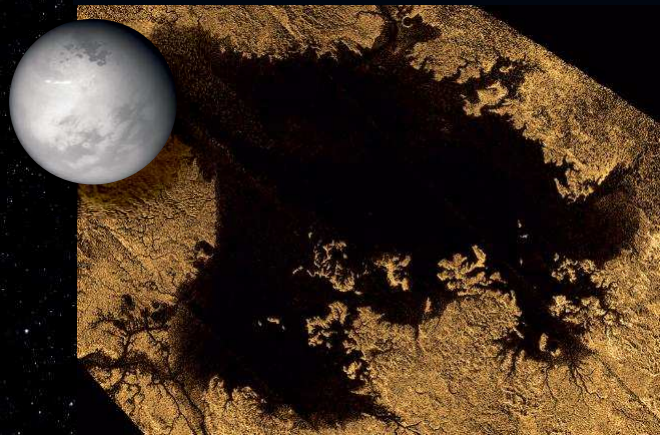
Tredici anni su Saturno

Il 15 settembre scorso, con la sua fonte di energia ormai in riserva, la sonda Cassini si è tuffata nell'atmosfera di Saturno dopo aver trascorso 13 anni in orbita intorno al pianeta. Nel corso della sua missione, la sonda ha scoperto aspetti mai visti del complesso pianeta, nonché delle sue eterogenee lune e anelli. Ha rivelato mondi dove fiumi di metano si riversano in grandi laghi, getti di cristalli di ghiaccio fuoriescono da un oceano sotterraneo per diffondonsi nello spazio e una sola tempesta può circondare un intero pianeta. Ecco alcune delle scoperte più importanti della missione.

Edward Bell

Le lune

Encelado

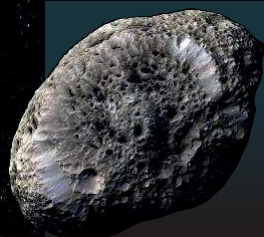
Su questa luna Cassini ha scoperto enormi getti simili a geyser emessi nella regione polare meridionale. Si ritiene che provengano da un oceano globale di acque sotterranee che contiene composti organici e che potrebbe essere in grado di ospitare forme di vita.

Titano

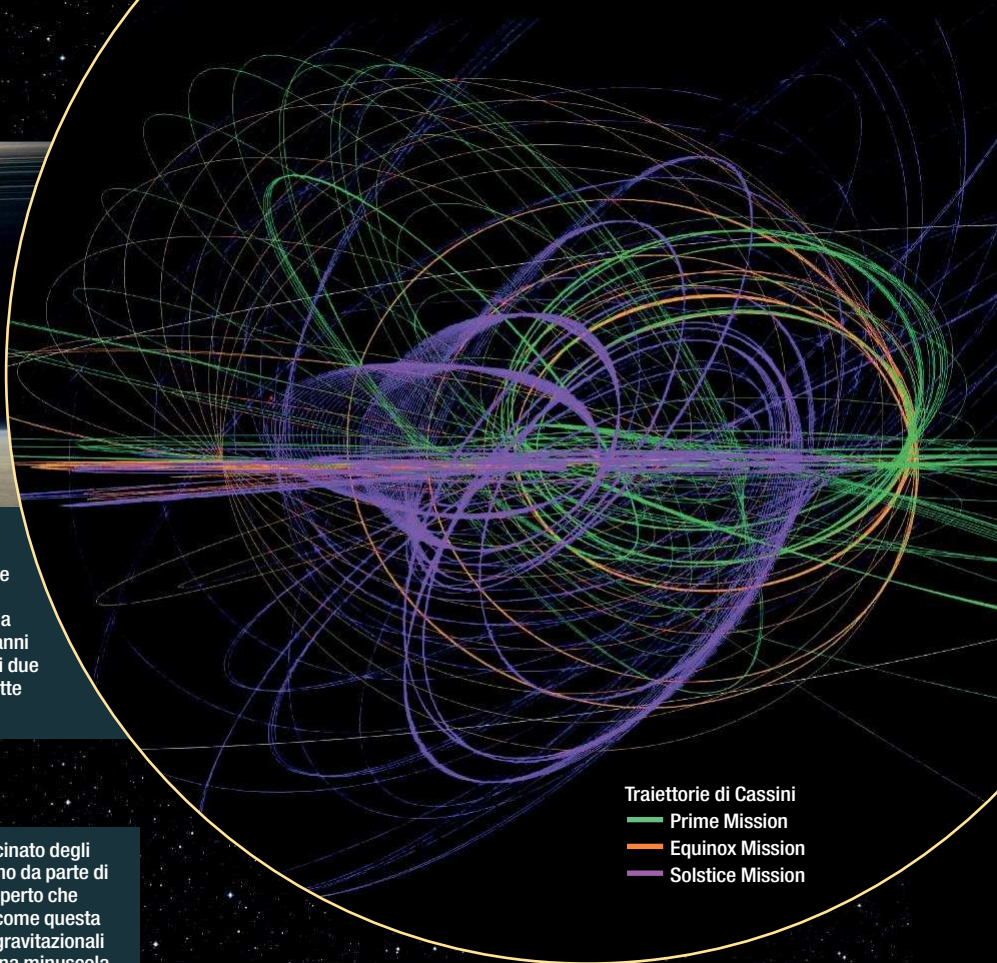
Il più grande satellite di Saturno è l'unico luogo del sistema solare oltre la Terra in cui si conosca l'esistenza di liquido stabile sulla superficie. Titano ha molti processi geologici simili a quelli del nostro pianeta, che generano piogge di metano che scavano letti di fiumi e formano laghi e mari contenenti metano ed etano liquido.

Giapeto

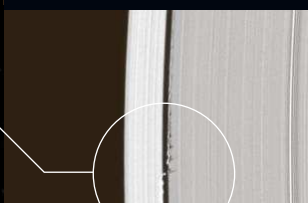
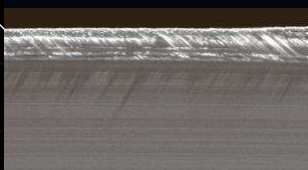
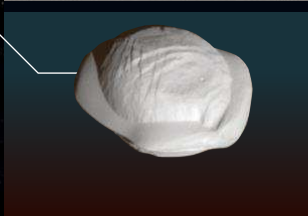
La superficie bicolore di questa strana luna, metà scura e metà chiara, era un mistero. Cassini ha scoperto che durante il percorso orbitale di Giapeto la polvere scura si posa sulla sua faccia anteriore e alcuni processi termici mantengono l'altra faccia per lo più chiara. L'immagine mostra il materiale scuro sulle pareti e sul fondo dei crateri.

Iperione

Cassini ha scoperto che questa luna a forma di patata è butterata come una spugna. Si pensa che abbia una densità insolitamente bassa, per cui gli impatti ne intaccano soltanto la superficie, anziché scavarla.

La sonda

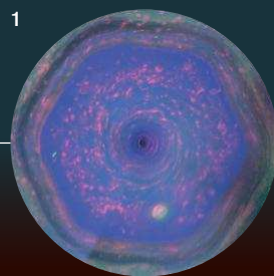
Dal 1° luglio 2004, quando la sonda Cassini si è stabilita in orbita attorno a Saturno, le sue 293 orbite hanno variato per dimensioni, orientamento e angolo per ottenere vedute sia ravvicinate che panoramiche di molti punti del sistema. La navicella ha completato la Prime Mission iniziale di quattro anni nel 2008, poi ha cominciato una Equinox Mission di due anni, seguita da una seconda estensione durata sette anni e chiamata Solstice Mission.

Traiettorie di Cassini
Prime Mission
Equinox Mission
Solstice Mission

Gli anelli

L'esame ravvicinato degli anelli di Saturno da parte di Cassini ha scoperto che forme a elica come questa sono disturbi gravitazionali provocati da una minuscola luna troppo piccola per ripulire l'area.

La minuscola luna Dafni, vista qui come un puntino nella divisione di Keeler, provoca onde nei bordi degli anelli passandoci attraverso.

Una parete montuosa di materiale degli anelli si erge verticalmente per 3,5 chilometri dall'anello B di Saturno e si estende per 20.000 chilometri.

La forma grottesca di Pan, una luna di 28 chilometri nella divisione di Encke, deriva dal materiale anulare che le ricade sopra.

L'atmosfera

SUPERTEMPESTA
Nel 2010 nell'atmosfera di Saturno dilagò un'immensa tempesta che si diffuse per tutto il pianeta (1). In pochi mesi questa tempesta crebbe fino a circondarlo del tutto e riunirsi con se stessa. Cassini ha ripreso un dettaglio in falsi colori dei vari strati di nuvole della tempesta (2).

1
2
VORTICE POLARE
Un vortice di nubi al polo nord di Saturno forma una misteriosa sagoma esagonale (1), con al centro un impetuoso uragano (2). Cassini ne ha misurato l'occhio: niente meno che 2000 chilometri di diametro.

1
2
Ron Miller (*illustrazione della superficie di Encelado*); NASA, JPL-Caltech, ASI e Cornell (*superficie di Titano*); Cortesia NASA, JPL-Caltech e Space Science Institute (*tutte le altre foto*); Edward Bell (*immagine verticale composita di Saturno*)

polo sud della luna, la camera ad alta risoluzione di Cassini ha osservato una massa di liquido di dimensioni simili al Lago Ontario in mezzo a una regione di masse simili più piccole. Altri strumenti hanno poi mostrato che contiene effettivamente metano liquido. Da allora abbiamo scoperto molte masse di metano liquido di diverse dimensioni; per qualche motivo, si trovano per lo più alle alte latitudini settentrionali. Le osservazioni del radar hanno rivelato coste irregolari e rocciose, mentre le pianure equatoriali dove è atterrata la sonda Huygens sono asciutte e ricoperte di dune che continuano per lunghe distese tutt'attorno alla luna, interrotte qua e là da terreni più alti.

I laghi e i mari di liquidi organici sulla superficie di Titano hanno ovviamente stimolato congetture sulla presenza di forme di vita. Ma la temperatura alla superficie di Titano è estremamente bassa: –180 gradi Celsius. Sarebbe sorprendente osservare a tali temperature reazioni chimiche simili a quelle che riteniamo siano necessarie per la biochimica basata sull'acqua. Ma se dovessimo individuare una biochimica veramente «aliena» che prospera nel metano sarebbe una scoperta storica.

A mio avviso, però, il luogo della più straordinaria scoperta di Cassini è senza dubbio Encelado, una luna gelida il cui diametro è circa un decimo di quello di Titano. Lì le Voyager avevano rivelato vaste distese pianeggianti spoglie e sorprendentemente lisce che raccontano un passato segnato da un'intensa attività interna e forse anche uno strato di acqua liquida sepolto sotto il guscio ghiacciato: entrambe le cose su una luna apparentemente troppo piccola per fenomeni simili.

Il primo indizio di attività su Encelado osservato da Cassini è arrivato all'inizio della sua missione, nel gennaio 2005, quando abbiamo visto un pennacchio di particelle ghiacciate emesso al polo sud. Subito dopo altri strumenti di Cassini hanno confermato che il pennacchio era reale. Ciò che scoprimmo di Encelado in quella prima parte della missione ci lasciò senza parole, ma è stato solo dopo il 2008, quando la NASA acconsentì di estendere la missione, che abbiamo potuto dedicare tempo e risorse per esaminare questo luogo affascinante.

Ciò che hanno scoperto da allora le nostre analisi di Encelado è una luna deformata dalle forze gravitazionali di Saturno. Questa energia mareale produce un calore interno più che sufficiente per creare un oceano globale di acqua profondo anche 45 chilometri sotto uno strato esterno di ghiaccio dello spessore di pochi chilometri. Nella zona del polo sud, più di 100 geyser sprizzano da quattro grandi fratture, dando luogo a un pennacchio di minuscole particelle di ghiaccio e vapore che si estende per centinaia di chilometri sopra la superficie. La maggior parte della massa solida di questo pennacchio ricade in superficie, ma una piccola frazione giunge lontano e forma l'anello E di Saturno.

La sonda Cassini è riuscita a volare attraverso il pennacchio una dozzina di volte e ad analizzare il materiale di cui è composto. Abbiamo scoperto che le particelle che si vedevano nelle nostre immagini, che appena il giorno prima parevano goccioline d'oceano, contengono grandi molecole e composti organici che indicano un'attività idrotermale simile a quella osservata presso i camini delle profondità oceaniche terrestri e con una salinità paragonabile. Il vapore che accompagna queste particelle è prevalentemente acqua, ma contiene anche tracce di semplici composti organici, nonché di anidride carbonica e ammoniaca, tutti ingredienti importanti per il sostentamento e l'origine stessa della vita.

I risultati di Cassini indicano chiaramente che sotto la superficie di Encelado c'è un ambiente che potrebbe contenere attività biologica, il che ci costringe ad affrontare alcune domande delicatissime. Questo piccolo mondo ghiacciato è stato sede di una seconda genesi della vita nel nostro sistema solare? Potrebbero esserci segni di vita nel suo pennacchio? Forse sulla sua superficie nevicano microrganismi? Nessun altro corpo celeste offre prove simili di avere tutti i requisiti formali che riteniamo necessari per l'abitabilità, e così oggi è il luogo più promettente e accessibile del sistema solare in cui cercare la vita. Alcuni di noi sono così affascinati da questa possibilità che stanno progettando missioni per tornare su Encelado e indagare.

Cassini ha rivelato che gli anelli di Saturno sono composti da miliardi di particelle ghiacciate e contengono spazi vuoti provocati dall'attrazione gravitazionale delle lune.

Cortesia NASA, JPL e Space Science Institute

Gli anelli

Ovviamente, sono gli anelli a rendere Saturno uno spettacolo unico, e comprenderne la complessa struttura è stato uno degli obiettivi principali di Cassini. Sono il naturale stato conclusivo del collasso di una nube rotante di frammenti e in quanto tali sono la cosa che assomiglia di più al disco di detriti che secondo l'opinione attuale fornirono la materia prima per il nostro sistema solare. Sono anche un modello per i dischi protostellari da cui nascono nuovi sistemi solari e addirittura per i miliardi di girandole di polvere e gas che chiamiamo galassie a spirale. Tra tutto ciò che c'è da studiare su Saturno, dal punto di vista scientifico gli anelli sono la cosa più importante.

Grazie alle misurazioni di Cassini abbiamo capito l'origine della maggior parte delle strutture negli anelli di Saturno. Abbiamo scoperto che in certi punti l'azione gravitazionale di una lontana luna in orbita disturba le orbite delle particelle dell'anello, producendo spigoli vivi o disturbi ondulatori che si propagano a spirale verso l'esterno. Altrove, dove le lune sono immerse negli anelli, la gravità ha disposto le particelle dell'anello in formazioni eleganti. Pan, per esempio, una luna del diametro di circa 30 chilometri nella divisione di Encke, ha agito in questo modo sulle particelle nelle sue vicinanze; a sua volta, il materiale degli anelli, cadendo, ha sagomato Pan, dandole l'aria di indossare un tutù.

Nelle regioni degli anelli dove le particelle sono particolarmente fitte abbiamo scoperto onde che si generano da sole e si propagano attraverso il disco con lunghezze d'onda che vanno da 100

metri a centinaia di chilometri. Queste onde si riflettono contro le nette discontinuità nelle concentrazioni di particelle e interferiscono con le altre e con se stesse, creando una geografia dall'aspetto caotico. E quello che oggi sappiamo della struttura degli anelli comprende la gratificante conferma di una previsione che Mark Marley, ora all'Ames Research Center della NASA, e io formulammo nel 1993: che anche le oscillazioni acustiche all'interno della massa di Saturno possono avere effetto sugli anelli; di fatto, gli anelli di Saturno sono essenzialmente un sismografo.

Le sorprese più sbalorditive sono arrivate da Cassini durante il periodo attorno all'equinozio di Saturno del 2009. Lungo il netto bordo esterno dell'anello più massiccio (l'anello B), abbiamo trovato un incredibile cordone continuo lungo 20.000 chilometri di ombre appuntite che tradiva la presenza di «montagne negli anelli», onde di particelle che si estendono tre chilometri sopra il piano anulare. Queste formazioni potrebbero derivare dall'estrema compressione del materiale dell'anello intorno a minuscole lune catturate nella risonanza sul bordo dell'anello, come onde d'acqua che sciabordano contro una scogliera sulla riva.

Un'altra scoperta è stata una sottilissima spirale molto stretta che continua ininterrottamente per 19.000 chilometri attraverso gli anelli interni C e D. Le indagini meticolose di Matt Hedman, ora all'Università dell'Idaho, e colleghi, hanno rivelato che nel 1983 un impatto di detriti di comete negli anelli interni ha probabilmente costretto tutte le particelle anulari nella regione della collisione a seguire orbite inclinate; le particelle più all'interno subirono una precessione, e ruotarono più veloci di quelle esterne. Da allora questo disturbo si è avvolto sempre più strettamente, creando negli anelli un corrugamento a spirale alto 3 metri. Questa struttura non esisteva durante i sorvoli delle Voyager. Così vediamo sempre più che il sistema solare è una meraviglia dinamica e, nella loro forma molteplice e fluida, gli anelli di Saturno sono una lezione concreta sull'universalità, la scalabilità e l'infinita complessità delle forze gravitazionali.

Cassini ci ha mostrato gli intricati dettagli di un sistema planetario affascinante e incredibilmente alieno

L'atmosfera

Cassini ha studiato in modo dettagliatissimo anche la struttura e il comportamento dell'atmosfera di Saturno, scoprendo caratteristiche inaspettate. Ha esaminato l'atmosfera su un'ampia gamma di altitudini, rivelandone gli schemi globali di circolazione, la composizione e la struttura verticale. Abbiamo appreso che l'atmosfera è suddivisa in larghe bande come quella di Giove, anche se sono meno evidenti dall'esterno a causa di una spessa foschia che si trova sopra lo strato superiore delle nubi, che è composto da ammoniaca. Quando Cassini ha sondato che cosa c'è nella troposfera, sotto la foschia, ha scoperto che la larghezza delle bande di Saturno si alterna al variare della latitudine: quelle più strette sono più scure, e coincidono con le correnti a getto più rapide, mentre le bande più larghe tendono a essere più luminose, allineate con correnti più lente e forse anche stazionarie rispetto alla rotazione generale del pianeta.

Nel complesso l'atmosfera del pianeta sembra abbastanza statica nel tempo: Cassini ha mostrato che anche la sorprendente corrente a getto esagonale sopra il polo nord è cambiata poco da quando la avvistarono le Voyager. Stiamo imparando che la stabilità è una caratteristica comune dei sistemi atmosferici su larga scala dei pianeti giganti: senza una superficie solida al di sotto del gas, non ci sono attriti che dissipino i movimenti atmosferici. Una volta iniziati, durano a lungo.

Ci ha però fatto piacere notare che l'atmosfera di Saturno non è indifferente ai cambiamenti stagionali. Quando è arrivata Cassini, il pianeta stava allestendo uno spettacolo inaspettato sopra le nuvole dell'emisfero invernale settentrionale: era azzurro! Dato che i due sorvoli delle Voyager erano avvenuti vicino a un equinozio, e quindi non avevano fornito vedute invernali, questa colorazione estrema è stata una sorpresa. Le misurazioni di Cassini hanno rivelato che la diminuzione delle radiazioni ultraviolette nel corso dell'inverno, insieme al fatto che l'ombra degli anelli sull'emisfero nord intercetta la luce del Sole, riduce la produzione della foschia sovrastante. Un'atmosfera più limpida corrisponde a un'opportunità migliore per lo scattering di Rayleigh, il processo che rende celeste la nostra atmosfera e fa sì che il metano atmosferico assorba i raggi solari rossi. Il sontuoso spicchio azzurro che colora l'emisfero invernale nelle nostre immagini di Saturno è come una fetta di atmosfera di Nettuno innestata su Saturno. Chi l'avrebbe detto?

Una proprietà distintiva di Saturno, nota da un secolo, è che su scale temporali dell'ordine dei decenni è soggetto al verificarsi di tempeste colossali. Così ha suscitato grande entusiasmo assistere alla formazione di una di queste tempeste alla fine del 2010. Nel corso di circa 270 giorni abbiamo osservato un gigante carico di tuoni e fulmini mentre nasceva come piccola perturbazione nell'emisfero settentrionale, cresceva, si diffondeva per tutto il pianeta finché la testa raggiungeva la coda, e infine svaniva. Era un altro fenomeno a cui nessuna sonda aveva mai assistito. Sospettiamo che l'acqua, che costituisce lo strato più basso delle nubi di Saturno, possa impedire per decenni la convezione da parte dell'atmosfera composta di idrogeno, più leggera, fino a quando la spinta idrostatica prevale e ne segue un potente fenomeno convettivo.

Esploratori di mondi

Dai suoi primi momenti, nel 1990, alla sua spettacolare conclusione di questo settembre, la missione Cassini è stata una tappa importante e di straordinario successo dei sessant'anni di esplorazione umana dello spazio. La sua storica spedizione intorno a Saturno ci ha mostrato intricati dettagli del funzionamento di un sistema planetario affascinante e incredibilmente alieno. Ha ampliato la nostra conoscenza delle forze che hanno plasmato Saturno e dintorni, il nostro sistema solare e, per estensione, altri sistemi stellari e planetari in tutto il cosmo.

È improbabile che vedremo tornare presto su Saturno una missione altrettanto articolata. Lavorando per Cassini abbiamo vissuto la vita faticosa ma gratificante di topografi di altri mondi. Adesso ci congediamo, grati di sapere che l'umanità leggerà la sua storia per molto tempo a venire. ■

PER APPROFONDIRE

Could it Be Snowing Microbes on Enceladus? Porco C. e altri, in «Astrobiology», pubblicato on line, 11 agosto 2017.

Saturn's Curiously Corrugated C Ring. Hedman M.M. e altri, in «Science», Vol. 332, pp. 708-711, 6 maggio 2011.

Enceladus's Measured Physical Libration Requires a Global Subsurface Ocean. Thomas P.C. e altri, in «Icarus», Vol. 264, pp. 37-47, 15 gennaio 2016.

L'inquieto mondo di Encelado. Porco C., in «Le Scienze» n. 487, marzo 2009.

Più sicuri all'asilo

Negli Stati Uniti le leggi sulle vaccinazioni scolastiche stanno funzionando

Prima del 2011, negli Stati Uniti il numero dei bambini con una copertura vaccinale completa contro malattie potenzialmente letali come difterite e morbillo scivolava verso il basso. Da allora, il declino è rallentato o la tendenza si è addirittura invertita. I tassi negli asili sono sensibilmente più elevati rispetto a quelli dei bambini tra i 19 e i 35 mesi di età: merito delle leggi degli stati che per entrare all'asilo richiedono la serie completa di inoculazioni. Le leggi variano, «ma nel complesso dicono, "dobbiamo proteggere i nostri bambini"», spiega William Schaffner, professore di medicina preventiva alla Vanderbilt University. Tuttavia, è necessario continuare a vigilare: i livelli delle vaccinazioni sono diminuiti leggermente nei gruppi più vecchi; forse perché in alcuni stati le leggi non richiedono la serie intera delle dosi raccomandate o permettono ai genitori di ottenere facilmente esenzioni. Genitori giovani potrebbero cercare di esentare i propri figli perché non pensano che le malattie siano gravi e potrebbero non aver imparato nulla su quelle malattie alle scuole medie o superiori, che tendono a concentrarsi sull'educazione sessuale e sui pericoli dell'assunzione di droghe.

Mark Fischetti

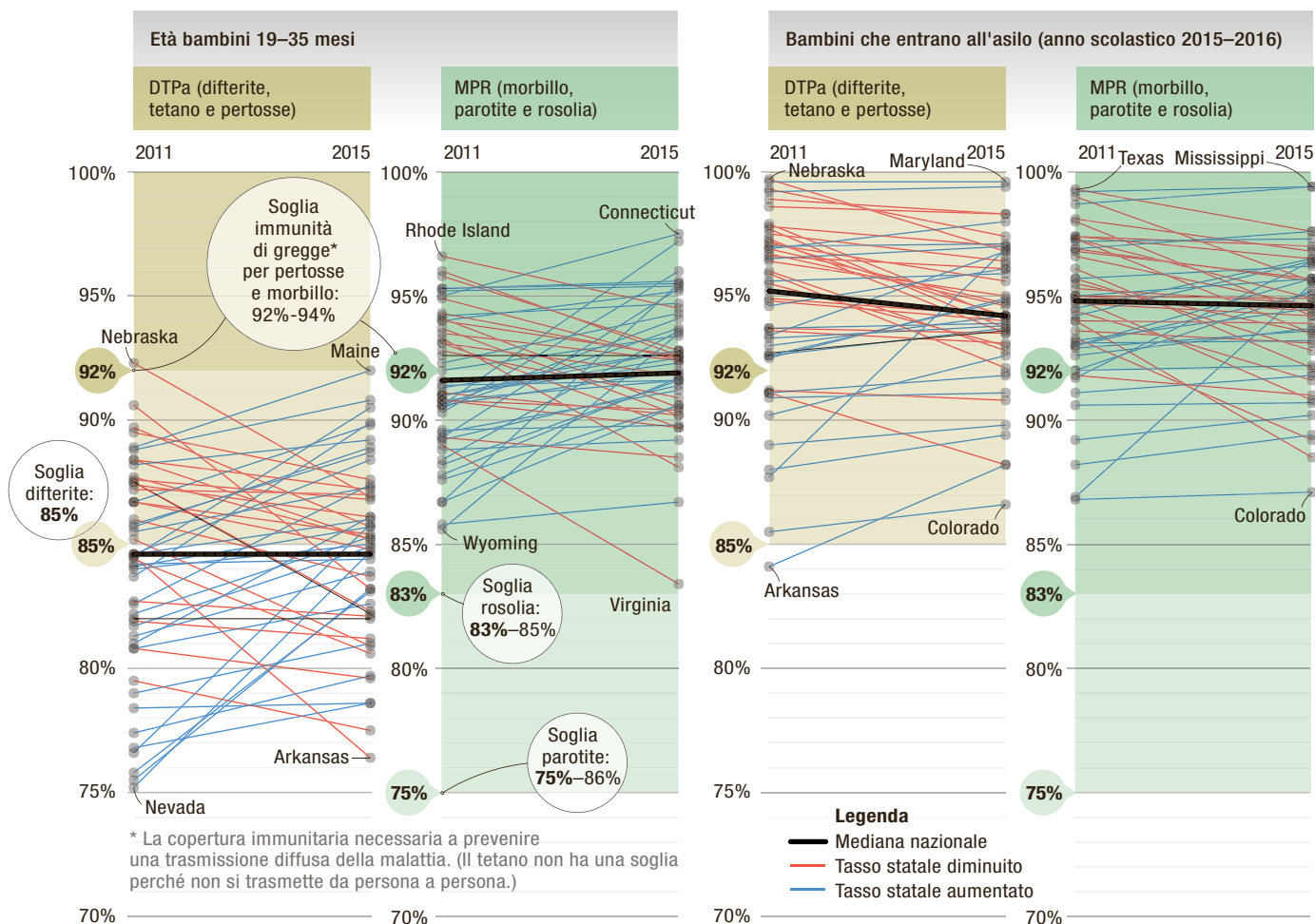
Quante dosi?

I Center for Disease Control and Prevention degli Stati Uniti raccomandano quattro dosi di vaccino DTPa e una dose di vaccino MPR entro un'età compresa tra i 19 e i 35 mesi. Raccomandano cinque dosi di DTPa e due di MPR entro un'età compresa tra i quattro e i sei anni, cioè quello che molti stati degli Stati Uniti richiedono per l'ammissione a scuola. I dati qui sotto sono per queste indicazioni.

Niente più esenzioni

Alcuni genitori sono determinati a eludere le leggi sulle vaccinazioni scolastiche, il che può spingere in basso la media di uno stato. Nel 2016, quando la California ha messo fine alle eccezioni basate su credenze religiose o filosofiche dei genitori, le esenzioni mediche, autorizzate da medici o contraffatte con il loro nome, sono triplicate rispetto al 2015.

Cambiamenti nella copertura vaccinale per Stato, 2011-2016

Grafica di Jan Willem Tulp; fonte: Centers for Disease Control and Prevention

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Il manuale delle scie chimiche

Il titolo di un documento militare statunitense è stato travisato dai complottisti

La nota tesi di complotto pseudoscientifica delle «scie chimiche», quella che sostiene che le scie bianche lasciate in cielo dagli aeroplani siano irrorazioni clandestine e nocive di natura militare, normalmente si liquida con il buon senso (per esempio, il numero di persone coinvolte sarebbe enorme e non avrebbe senso irrorare di giorno quando si potrebbe farlo di notte senza farsi notare), anche se questo non ha impedito una dozzina di interrogazioni parlamentari sul tema. Ma di fronte all'immagine di un documento ufficiale dell'aviazione militare statunitense (U.S. Air Force, o USAF) intitolato *Chemtrails*, che è il termine inglese usato per indicare le ipotizzate «scie chimiche», e pubblicato niente di meno che dal Dipartimento di chimica della USAF Academy, il buon senso può comprensibilmente vacillare.

In effetti se ci si ferma a questa descrizione dei fatti, in sé corretta, sembra di aver trovato le prove inconfutabili della cospirazione: il libro è lì da vedere. Bisogna impegnarsi parecchio, invece, per arrivare alla vera spiegazione dei fatti: occorre procurarsi una copia completa del documento, obiettivo non facile, e leggerla. Solo così si scopre che si tratta semplicemente di una dispensa di chimica di base, usata dagli iscritti al primo anno dell'accademia aeronautica statunitense nel corso dei propri studi. Il suo testo non parla affatto di irrorazioni aeree. Il manuale, fra l'altro, è catalogato nelle biblioteche pubbliche statunitensi: cosa che avrebbe ben poco senso se si trattasse davvero di un documento che svela un piano segretissimo.

Spiegare il titolo apparentemente sinistro del manuale richiede una ricerca ancora più approfondita, da cui emerge che, dagli anni cinquanta, il libro che contiene tutte le informazioni che devono imparare i cadetti dell'accademia dell'aviazione militare statunitense s'intitola *Contrails* (ossia «scie di condensazione»). Il manuale di chimica ha semplicemente adottato come titolo una storpiatura di questo libro-guida dei cadetti, usando un gioco di parole fra «*chemistry*» («chimica») e «*trails*» («scie», «sentieri» o «tracce»), per cui andrebbe in realtà tradotto come «tracce di chimica» o «sentieri di chimica». Un titolo innocuo, anche perché c'è un altro dettaglio importante: la parola *chemtrails* fu adottata per indicare le presunte scie misteriose solo a partire dalla fine degli anni novanta, mentre il manuale dell'USAF risale al 1990.

Si tratta insomma di un caso di «cronopareidolia», ossia l'interpretazione erronea di un dato causata dalla mancanza di contesto storico: lo stesso errore che fa vedere lampadine o elicotteri nei bassorilievi egizi o dischi volanti nei quadri religiosi medievali. Tuttavia questa vicenda ha anche due altri aspetti significativi: la scoperta della vera natura del manuale *Chemtrails* è merito non di un cosiddetto *debunker*, ma di una sostenitrice della tesi del complotto, Diane Harvey, e risale al 2001. Nonostante sia stata smentita, oltretutto da una fonte insospettabile, ancora oggi capita di vederla sbandierata come una prova della cospirazione, a dimostrazione del fatto che i miti dei complottismi sono straordinariamente longevi e resistenti allo sbugiardamento.

Gas di scarico. Secondo la teoria complottista delle scie chimiche, le scie bianche degli aerei sarebbero irrorazioni di composti nocivi, ma in realtà sono generate dalla condensazione di gas di scarico.

Questa vicenda, inoltre, è un esempio perfetto di un altro fenomeno ricorrente delle pseudoscienze: creare una presunta prova di complotto richiede pochissima fatica, mentre smascherarla in modo inoppugnabile richiede spesso ore o giorni di ricerca paziente. Le tesi di questo tipo partono insomma in vantaggio, ed è importante tenerne conto quando si propongono dibattiti per far sentire due campane apparentemente alla pari.

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

Smalto al fulmicotone

La nitrocellulosa è una sostanza fondamentale per gli smalti delle unghie

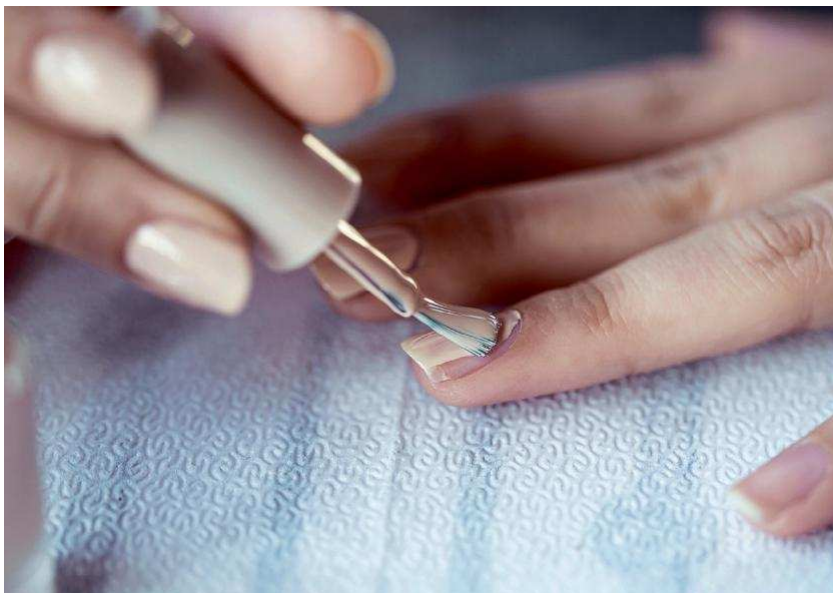
Siamo nel 1846, a Basilea. Il chimico Christian Friedrich Schönbein sta trafficando con alcuni reagenti sul tavolo della cucina e, inavvertitamente, rovescia una bottiglia di acido nitrico. Tenta di rimediare al danno assorbendo il liquido con un canovaccio che farà poi asciugare sulla stufa. Dopo pochi minuti Schönbein assisterà a uno spettacolo inaspettato: il canovaccio si è incendiato, generando una fiammata degna di un esplosivo. Schönbein non lo sapeva ancora, ma la reazione fra l'acido nitrico e le fibre di cellulosa del cotone aveva prodotto una sostanza altamente infiammabile che prende il nome di «nitrocellulosa», originariamente conosciuta come «fulmicotone» proprio per le sue origini.

Da allora la nitrocellulosa ha trovato applicazione in molti settori diversi, dalle vernici,alle pellicole fotografiche, fino alle palline da ping pong e ai propellenti per le cartucce dei fucili. C'è, però, un settore che oggi non potrebbe fare a meno di questa sostanza: quello degli smalti per le unghie.

I polimeri di nitrocellulosa, infatti, creano una pellicola sottile ma rigida, che riveste le superfici su cui sono applicati. Un vecchio trucco da oratorio consisteva proprio nell'usare lo smalto per sigillare i buchi nelle palline da ping pong danneggiate e continuare a usarle per qualche altra partita o fino a quando non si sarebbero distrutte del tutto. Ma anche da rotte le palline da ping pong potevano tornare utili, per esempio per preparare uno smalto rudimentale da usare per riparare altre palline e prolungarne ulteriormente la vita. È sufficiente, infatti, immergerle in una soluzione di acetone per vederle liquefare e rilasciare il polimero di nitrocellulosa nel solvente.

I solventi usati per la produzione degli smalti per le unghie, come l'etil-acetato o il butil-acetato, sono molto volatili ed evaporano completamente in pochi minuti rilasciando nell'aria l'inconfondibile odore e lasciando sull'unghia solo una sottile pellicola. Più sottile è lo strato di smalto applicato, più sarà veloce ed efficace la formazione del polimero di nitrocellulosa. Se poi un singolo strato non dovesse essere sufficiente per ottenere il colore desiderato, si possono sempre applicare altri strati di smalto aspettando ogni volta il tempo necessario per l'evaporazione del solvente.

Queste sono le basi, ma come sempre accade con la chimica e, soprattutto, con la chimica delle formulazioni, la realtà è molto più complicata di come appare. Intanto la pellicola formata dalla nitrocellulosa è sì dura, ma anche fragile, poco adesiva e rischia di rompersi e staccarsi dall'unghia molto facilmente. Per sopperire a questo inconveniente, agli smalti si aggiungono molecole «plastificanti», che rendono la pellicola più resiliente, in grado cioè di adattarsi alle sollecitazioni a cui è sottoposta senza danneggiarsi, insieme a molecole adesive che permettono alla pellicola di «aggrapparsi» all'unghia e, quindi, durare più a lungo.

Queste stesse molecole, dosate in maniera differente, vanno anche a costituire i cosiddetti *top coat* e *base coat*, smalti trasparenti da applicare sopra e sotto lo smalto colorato. I base coat, a diretto contatto con l'unghia, privilegiano la componente adesiva, mentre nella formula dei top prevalgono la nitrocellulosa e le altre molecole responsabili della formazione della pellicola per creare una barriera protettiva. Un po' come i vetri aggiuntivi che si applicano sui telefoni cellulari per proteggere gli schermi dagli urti.

In evaporazione. I solventi usati negli smalti per unghie evaporano in pochi minuti liberando nell'aria un odore caratteristico e lasciando una sottile pellicola sull'unghia.

Xesai/iStock

A tutto questo dobbiamo ancora aggiungere i coloranti e le varie componenti iridescenti, come la mica, o perlate, come la guanina estratta dalle squame delle aringhe, che rendono ogni smalto particolare e diverso dagli altri.

E se vogliamo rimuovere lo smalto perché non ci piace più o si è rovinato? Ricordiamoci delle palline da ping pong: un po' di solvente ci permetterà di risciogliere la nitrocellulosa.

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

Glutammato che spaventa

Questo esaltatore di sapidità è guardato con sospetto a causa di leggende urbane

Lo troviamo in molti alimenti, leggiamo il suo nome nella lista degli ingredienti di cibi confezionati e in molti guardano con sospetto la sua sigla: E621. Se appartenete a quel vasto gruppo di persone che pensano che il glutammato di sodio sia una «schifezza chimica», forse dovreste considerare l'ipotesi che il vostro sia solo un pregiudizio culturale.

Il glutammato è il sale dell'acido glutammico: un amminoacido, un costituente delle proteine di cui noi, come tutti gli esseri viventi, siamo formati. È un amminoacido «non essenziale» perché, se non lo assumiamo con la dieta, il nostro corpo riesce a produrlo a partire da altre molecole. Nel 1907 il chimico giapponese Kikunae Ikeda stava cercando di scoprire la molecola responsabile del sapore di una zuppa tradizionale preparata con l'alga *kombu*. Non sembrava rientrare nei quattro sapori fondamentali noti fino ad allora: dolce, salato, amaro e aspro. L'anno successivo Ikeda riuscì a estrarre dalle alghe una polvere bianca che identificò come acido glutammico. Diede il nome di *umami* al nuovo quinto sapore, stimolato dall'acido glutammico o dai suoi sali, e nel 1909 iniziò la produzione industriale di questo acido estraendolo dal glutine di frumento. Da allora, col nome di *Aji-no-moto*, che significa «all'origine del gusto», questo nuovo condimento si diffuse prima in Giappone e poi in tutta l'Asia.

Sapori marcati. La salsa di soia, molto usata nella cucina cinese e giapponese, è ricca di glutammato, come il parmigiano e le acciughe.

Il glutammato è un esaltatore di sapidità: aggiunto ai cibi ne esalta il sapore. Che sia presente naturalmente nei cibi o che venga aggiunto non fa alcuna differenza per il nostro corpo e per questo l'industria alimentare lo usa a piene mani.

Poiché l'acido glutammico è presente nelle proteine, tutti i cibi proteici stagionati o fermentati ne sono ricchi. La salsa di soia per esempio, molto usata nella gastronomia cinese e giapponese, viene prodotta dalla soia e dal grano facendoli fermentare. Durante la degradazione delle proteine si libera il glutammato ed è per questo che è molto saporita. Un altro esempio è il parmigiano. Come tutti i formaggi molto stagionati ne contiene moltissimo: 1,2 grammi ogni 100 grammi. Altri cibi saporiti ricchi di glutammato libero sono i pomodori e le acciughe.

Negli anni sessanta, quando si diffusero i primi ristoranti cinesi negli Stati Uniti, molti iniziarono a guardare con sospetto questo ingrediente tradizionale nella cucina asiatica ma poco conosciuto altrove. Cominciarono a circolare una serie di leggende urbane su questa sostanza, che fu accusata, senza prove, di essere causa di molte malattie, addirittura di creare danni cerebrali, danneggiare il feto e causare tumori. Queste ipotesi sono state successivamente messe alla prova con studi scientifici e si sono dimostrate assolutamente infondate, ma la diffidenza verso questa sostanza è rimasta.

A riprova del fatto che non è da temere, sappiate che l'acido glutammico, tra tutti i 20 amminoacidi, è quello in assoluto più presente nel latte materno umano, poiché è essenziale per il neonato. Il fatto che non sia nocivo tuttavia non significa che se ne possa abusare. È utile paragonarlo al cloruro di sodio, il sale da cucina: è una sostanza che serve al nostro corpo, che stimola un sapore fondamentale, che insaporisce e rende gustosi i cibi, ma non dobbiamo esagerare altrimenti possono esserci controindicazioni.

L'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA), ha recentemente suggerito una dose giornaliera ammissibile (DGA) di 30 milligrammi per chilogrammo di peso corporeo. Questo livello di sicurezza si basa sul dosaggio più elevato a cui gli scienziati non hanno osservato effetti nocivi in animali di laboratorio nel corso degli studi di tossicità. Le stime dell'EFSA sul consumo alimentare di glutammato in varie fasce della popolazione europea hanno rilevato che in alcuni casi, specialmente per bambini piccoli, questa soglia viene superata. L'agenzia quindi raccomanda la riduzione di glutammato nei prodotti di pasticceria fine, salse, brodi, zuppe, condimenti e prodotti a base di carne.

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Elezioni nel brodo di Borda

Comincia spesso così: con una porta che si apre, un inquilino che entra, e due che lo accolgono.

«Oh, Treccia! Bentornata! Vuoi una birra? Hai l'aria stanca.»

«Ragazzi, devo dire che proprio non vi capisco. Insomma, il mondo intero è in ansiosa attesa del più importante risultato elettorale del millennio, e voi due ve ne state seduti tranquilli a guardare nel vuoto e a scambiarvi sorrisi da dietro arachidi, pipe e lattine di birra...».

Anche Gaetanagnesi, la micia che farebbe qualsiasi cosa (o quasi) per allietare Alice, trova il trecciuto entusiasmo sopra le righe.

«Suvvia, un minimo di realismo, dottoressa Riddle: del corrente millennio non ne è ancora passato neanche il due per cento, e ipotecare il restante 98 mi sembra eccessivo. Pensa a quante altre elezioni ci aspettano, dalle associazioni benefiche alle assemblee di condominio...»

«Vabbè, ma mi aspettavo un minimo di interesse, questa volta, visto che non solo si tratta del nostro circolo scacchistico, ma i candidati in lizza per la presidenza siamo noi tre. Sono sempre più convinta che ci hanno candidato in blocco solo perché siamo i proprietari del mostro felino. Ancora mi ricordo che facce hanno fatto, quando Gaetanagnesi li ha battuti tutti e 20 in simultanea.»

Rudy aspira un po' perplesso: «Solo in parte, direi, solo in parte... Tu sei giovane e, da quando hai imparato a leggere, il fondamentale volume *Scacchi* di Paolo Bagnoli è tristemente esaurito e non più ristampato...»

«Beh, mi spiace per lui, ma raccolte di problemi scacchistici ne abbiamo a iosa, in biblioteca: visto che è un libro piuttosto attempato, mi aspetto che la partita che certo starai per citarmi starà in qualche altro testo, no?»

«Sbagli, Treccia; ma è comprensibile: *Scacchi*, contrariamente a *Scacchi matti*, dello stesso autore, non discute molte partite di scacchi: si occupa assai più degli scacchisti, in particolare della fauna del circolo scacchistico medio. Forse, se glielo chiedi gentilmente, Doc (sotto la sua attenta sorveglianza) ti permetterà di leggere la sua copia.»

«Ma non se ne parla neanche!», ulula il chiamato in causa. «Però, siccome so benissimo a che parte ti riferisci, posso declamarla. Anche perché, in caso di elezione del sottoscritto, ho intenzione di usarla come discorso di accettazione.»

«Anche tu? Ma guarda...»

«Vabbè, non c'è problema, visto che di discorso di accettazione ce ne sarà al massimo uno. Anzi, proporrei a questo punto di illustrarlo per bene a Treccia, qualora sia lei a essere eletta presidentessa. Eccolo: giusto un paio di aggiustamenti, e possiamo tranquillamente spacciarlo per un originale *Discorso alla Nazione Scacchistica*. Che ne dici?»

«Ottima idea, candidato avversario.»

«Grazie, candidato avversario.»

«Sentite, candidati rimbambiti, la piantate o mi fate sentire qualcosa di utile, dopo tutta questa tiritera?»

«Tranquilla, Treccia, era solo per avere il tempo di trovare il libro. Ecco qua: "Il presidente di un circolo scacchistico ha compiti notevoli e di ogni tipo; tali compiti sono sufficientemente vaghi da consentirgli di dar da fare il lavoro agli altri. Egli quindi, non ne ha alcuno".»

Illustrazione di Stefano Fabbri

«...e, se non ricordo male, la stessa mole indicibile di lavoro viene svolta dal tesoriere e dal direttore tecnico.»

«Voi due mi farete perdere la fiducia nel genere umano, almeno su quella parte che consideravo abbastanza razionale da saper giocare a scacchi. Ma visto che da tempo inenarrabile i circoli

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di gennaio e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

I tre Rudi sono stati eletti a cariche di vertice del loro circolo scacchistico e subito ne è nato un quesito matematico

IL PROBLEMA DI NOVEMBRE

Il mese scorso si chiedeva di verificare l'esistenza di soluzioni di un gioco che prevedeva, su una scacchiera $N \times N$, di poter intervenire aggiungendo o togliendo un segnalino su un sottoinsieme $(N-1) \times (N-1)$ della medesima scacchiera, reiterando l'operazione fino ad avere la scacchiera originale con le caselle occupate da tutti i numeri da 1 a N^2.
Supponiamo il gioco risolto: siano *A, B, C, D* le quattro caselle d'angolo della scacchiera $N \times N$, e $p = a + b + c + d$ il totale delle operazioni eseguite sulla rispettive caselle d'angolo. Le $(n-2)^2$ caselle centrali saranno state oggetto di tutte le p operazioni. Una di queste conterrà il numero p se l'operazione era per p volte «+1»; conterrà $p-2$ se su di essa si è eseguito $p-1$ volte «+1» e una sola volta «–1»; e così via: avrà insomma la stessa parità di p. Non è troppo diverso il discorso per le caselle dei «bordi»: le caselle del bordo *AB*, su cui si è operato $a + b$ volte, conterranno numeri della stessa parità di $(a + b)$, e naturalmente lo stesso è valido anche per gli altri bordi.
A ogni operazione si aggiunge in totale un numero pari sulla scacchiera: se il lato N della scacchiera è dispari, allora poiché la sommatoria da 1 a N^2 è anch'essa dispari, si vede subito che non esiste soluzione possibile.
Se invece il lato N della scacchiera è pari, anche il numero p delle operazioni dovrà esserlo. Questo comporta che le caselle centrali (su cui hanno agito tutte le p operazioni) dovranno contenere tutti numeri pari, a fine gioco, e quelle dei bordi dovranno contenere tutti i dispari (anche se alcune caselle d'angolo possono contenere dei numeri pari). Quindi, tenendo conto che le caselle centrali sono $(n-2)^2$ e che quelle che contengono i numeri dispari sono $n^2/2$, si può verificare che l'unica soluzione possibile, con $N > 3$, è $N = 6$.

scacchistici sopravvivono, chi fa tutto il lavoro? Aspetta, non ditemelo. Mi pare di ricordare che il segretario venga eletto da un gruppo ristretto del quale non fanno parte né il presidente, né il tesoriere, né il direttore tecnico...»

«Brava Treccia: ma ne fanno parte i segretari passati, nel tentativo di trasmettere, almeno in spirito, delle ragionevoli capacità di sopravvivenza circolare...»

«Uff. Voi due riuscireste a far perdere l'entusiasmo anche a un adolescente al primo appuntamento.»

«Suvvia Treccia, non arrabbiarti. E poi, il fatto che tu sia rientrata dal circolo significa che le votazioni si sono concluse, e quindi di sicuro starai fremendo dalla voglia di comunicarci il risultato. Non è vero?»

«Mah... Forse. Devo dire che sono state emozionanti, anche per il fatto che è stato accettato di votare con il metodo di Borda, mettendo i nostri tre nomi in ordine di preferenza, come proposto da Rudy. Adesso capisco meglio la ragione di quel bisbiglio che avevo intercettato l'altra volta: "Elezione insignificante, diamo una soddisfazione a quel vecchio bacucco..."»

«Ah, ecco. Beh, se sono stato io a vincere, credo instaurerò una salutare e sanguinaria tirannide.»

«La cosa divertente è che nei 20 voti raccolti erano presenti tutte le combinazioni possibili. Una volta tanto, sarò io farvi soffrire, non vi darò i risultati finali belli pronti. Vi dico solo che all'inizio sembrava non ci fosse spazio per Doc, visto che ben 11 persone preferivano Rudy a lui, mentre 12 preferivano me a Rudy. Poi, con una *suspense* degna di miglior causa, è venuto fuori anche che ben 14 preferivano Doc a me. Tutte persone che hanno letto il Bagnoli, evidentemente. Spero solo non mi propongano come segretario.»

«E... quindi?», chiede Doc, con voce tremula (non tanto per la possibile vittoria o sconfitta, quanto per il terrore di dover fare dei conti).

«Quindi, visto come avete smorzato il mio entusiasmo, lascio a voi il calcolo di quanti voti come prima posizione (quelli che contano, in prima istanza: gli altri si usano solo per spareggio) abbia ricevuto ciascuno di noi.»

Le matite corrono veloci sui taccuini e, in breve tempo, si levano tre frasi in rapida successione:

«Congratulazioni, presidente!»

«A cena fuori! E paga il presidente!»

«Ehm... Credo prima sentirò il tesoriere e il commissario tecnico... ah, già, siete voi due. Mi tocca proprio, allora. Sia come sia, resto dell'opinione che bisognava obbligarli ad accettare la candidatura della gatta.»

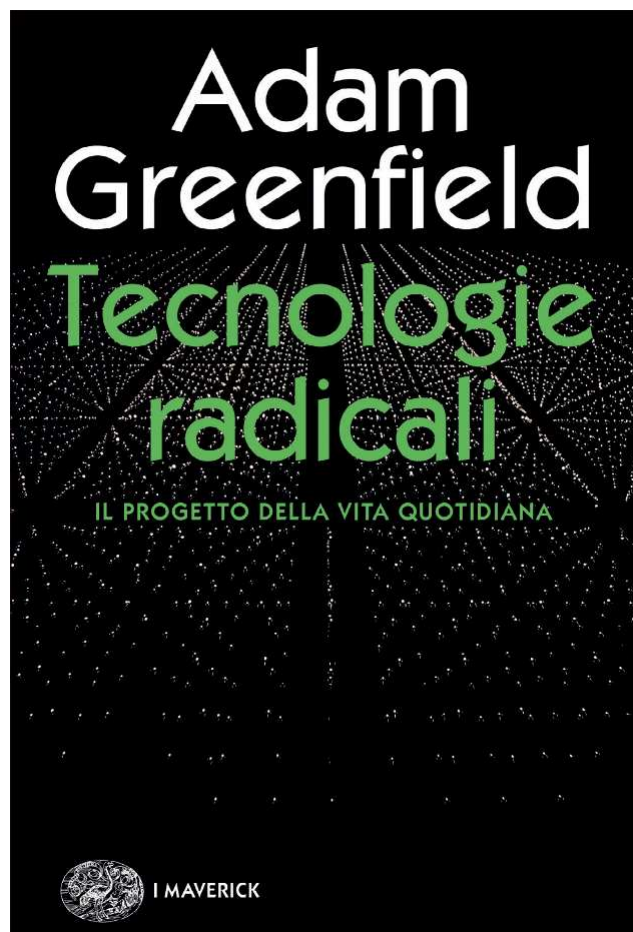
Le nostre vite nell'era tecnologica

Tecnologie radicali
di Adam Greenfield
Einaudi, Torino, 2017, pp. 329 (euro 22,00)

«Noi diamo forma ai nostri edifici, dopodiché sono i nostri edifici a dare forma a noi», disse nel 1943 il primo ministro britannico Winston Churchill per sostenere la necessità di ricostruire la House of Commons nella sua forma originale alla fine della seconda guerra mondiale. La Rete e le tecnologie digitali sono gli «edifici» che ormai da anni stanno plasmando le nostre esistenze. Schiere di sociologi, antropologi, filosofi e tecnologi hanno versato fiumi di inchiostro e di bit per analizzare e interpretare la natura dei cambiamenti in atto, non di rado con una visione parziale e poco documentata di come funzionano le nuove tecnologie. Nel dibattito pubblico sul loro impatto capita ancora più spesso di imbattersi in analisi semplicistiche che si chiudono con dolenti e autocompiaciuti «*o tempora*, *o mores*».

Il merito fondamentale del libro di Adam Greenfield, è invece fornire un percorso critico molto ben argomentato nel paesaggio tecnologico in cui viviamo immersi, a partire da un ritratto documentato di ognuna delle tecnologie che l'autore definisce radicali perché mutano alla radice la relazione tra noi stessi e l'ambiente sociale, politico, ed economico in cui agiamo: *smartphone*, Internet delle cose, realtà aumentata, fabbricazione digitale, criptovaluta, *blockchain*, automazione, apprendimento automatico e intelligenza artificiale. Di ognuna di queste tecnologie, Greenfield compie un ampio periplo, mettendo in luce le criticità ma anche le opportunità ancora latenti.

Della tecnologia blockchain si è molto parlato negli ultimi anni, soprattutto in relazione alla diffusione della criptovaluta Bitcoin, la cui evoluzione (e forte oscillazione del valore) continua a suscitare sia entusiasmi sia forti perplessità. Ma blockchain si sta diffondendo ben oltre la criptovaluta più famosa, proponendosi come piattaforma tecnologica a carattere decentralizzato, in grado di garantire scambi tra pari basati sulla trasparenza e l'affidabilità. Un sistema che, spiega Greenfield, in futuro potrebbe minare alle fondamenta le strutture delle società umane che poggiano sugli Stati centralizzati, a favore di comunità autonome di persone auto-organizzate. Il paradosso tuttavia è che una tecnologia ideata da un gruppo di anarcocapitalisti stia attirando l'attenzione di molte grandi istituzioni che la ritengono un'ottima soluzione ai problemi di gestione delle transazioni e delle banche dati.

Malgrado molti le considerino ancora poco più che un passatempo, le stampanti 3D e gli altri dispositivi che affollano i *fablab* sono una prima esemplificazione delle pratiche di fabbricazione digitale che potrebbero cambiare volto all'economia del nostro pianeta e addirittura alla fisionomia delle nostre città, non più vincolate ai luoghi della produzione industriale, della logistica e della vendita. Si potrebbe rompere il meccanismo di mercato dei bisogni indotti, avere sistemi di produzione più sostenibili, basati anche sul riutilizzo e, vista con gli occhi di Karl Marx, da un punto di vista sociale significherebbe restituire alla collettività la proprietà dei mezzi di produzione.

Greenfield svolge la sua critica sociale alle nuove tecnologie dichiarando il suo punto di vista di sinistra, e dialogando con quei teorici progressisti che hanno cercato di abbandonare le categorie novecentesche, come i cosiddetti accelerazionisti, che vedono appunto nell'accelerazione dell'innovazione tecnologica la possibilità di avvicinare la fine dell'era capitalista e l'avvento di un «comunismo di lusso completamente automatizzato».

In verità lo sguardo di Greenfield – una formazione in studi culturali, una carriera avviata nell'esercito statunitense, alcuni anni di lavoro in grandi società dell'*information technology* come Nokia, infine docente di *urban design* alla London School of Economics – è decisamente meno ottimista sull'evoluzione futura delle società digitali. Prevalgono le preoccupazioni per alcune tendenze già manifeste, come l'impiego di algoritmi per limitare l'accesso al credito, l'uso di dispositivi indossabili per monitorare i lavoratori, il rischio di oligopolio degli sviluppatori dei sistemi di intelligenza artificiale. Senza però anatemi, ma invitando tutti noi a guardare con occhi aperti e critici quello che ci accade intorno.

Marco Motta

Come usare i rifiuti per un'economia circolare

Trash
di Piero Martin e Alessandra Viola
Codice Edizioni, Torino, 2017
pp. 240 (euro 25,00)

Un problema da risolvere, ma anche una risorsa da sfruttare. Il fisico Piero Martin e la giornalista Alessandra Viola raccontano in questo libro tante curiosità sui rifiuti: da quelli in alta quota (12 tonnellate tra corde, scatolette, bombole di ossigeno abbandonate sul monte Everest da scalatori e turisti sempre più numerosi) a quelli gettati sul fondo dei canali di Venezia (lavatrici, frigoriferi, pneumatici). E ancora, spazzatura tecnologica, spaziale, radioattiva.
I rifiuti, spiegano gli autori, dicono molte cose di noi: per esempio il cibo che (non) mangiamo e quindi sprechiamo (solo in Italia oltre dieci milioni di tonnellate), le creme di bellezza che usiamo. Molti prodotti per il corpo contengono infatti plastica, in microsfere, che diventano poi rifiuti: difficili da intercettare, finiscono la loro vita in mare, inquinando.
E a proposito di plastica, ne produciamo talmente tanta che gli archeologi del futuro potrebbero chiamare la nostra era, dominata com'è dalla plastica, «plasticene»; anche se non solo di questo materiale sono i rifiuti che riversiamo sul pianeta. Il messaggio comunque è univoco: dobbiamo produrne meno ed essere in grado di riusare, riciclare e recuperare quelli che produciamo. Quindi, se finora la nostra economia e il nostro modo di vivere si sono fondate sull'usa e getta, seguendo la cosiddetta economia lineare, la nuova sfida oggi è far curvare l'economia, per renderla circolare. E così vecchi pneumatici possono essere usati per realizzare campi da calcetto, i residui della spremuta di arancia per produrre capi di alta moda, bucce, semi e raspi d'uva per fare cinture o borse di pelle.

Simona Regina

Il ragionamento scientifico illustrato da un chimico

L'architetto dell'invisibile
di Marco Malvaldi
Raffaello Cortina, Milano, 2017,
pp. 206 (euro 19,00)

Quantità e qualità: il chimico si preoccupa di entrambe. Le quantità misurabili della fisica, che governa tutte le interazioni, e le qualità delle molecole che derivano dalle interazioni fisiche. All'incrocio dei due campi, si situa la chimica fisica, che prima di arrivare al laboratorio del chimico passa (tra le altre) per le equazioni della meccanica quantistica. Non è un caso che uno degli autori più citati in questo libro sia lo statunitense Richard Feynman, uno dei più talentuosi ed eclettici fisici del Novecento, premio Nobel nel 1965 e grande divulgatore della sua disciplina. Malvaldi, chimico di professione e anche scrittore affermato, accompagna il lettore alla scoperta della fisica fondamentale necessaria per comprendere gli aspetti materiali del mondo che ci circonda, costruendo mattone per mattone un percorso di conoscenza che parte praticamente da zero.
L'unico utensile necessario è l'interesse verso la disciplina: astruse formule matematiche sono quasi bandite e quando appaiono sono spiegate in modo semplice e conciso. Allo stesso modo, non appaiono lunghe descrizioni dei processi chimici, spesso sostituite da divertenti narrazioni su come si è arrivati a scoprire quegli stessi processi e sugli autori delle scoperte. Insomma, siamo molto lontani da un trattato di chimica scritto da uno scienziato in camice bianco: la verve letterario-umoristica dell'autore pervade ogni riga che porta dagli atomi dei fisici alle gomme della bicicletta, molto attento anche all'estetica delle teorie e delle molecole. Un utile libro di divulgazione per mostrare le basi del ragionamento scientifico anche a chi pensa che «chimico» sia una brutta parola, in contrapposizione a «naturale».

Mauro Capocci

La mostra della NASA a Milano

Per un deprecabile errore, nel numero dello scorso novembre di «Le Scienze» è stato scritto che la mostra *NASA. A Human Adventure* si trova al Museo nazionale della scienza e della tecnologia «Leonardo da Vinci» di Milano. In realtà la mostra si trova allo Spazio Ventura XV, sempre a Milano, in Via Privata Giovanni Ventura, 15. Ci scusiamo dell'errore con i lettori e con i diretti interessati. E rinnoviamo la segnalazione della mostra, che sarà aperta fino al 4 marzo 2018.

Cortesia John Nurminen Events B.V. (*mostra* NASA. A Human Adventure)

I 2500 metri quadrati dell'esposizione contengono 300 gioielli tecnologici e manufatti che hanno fatto la storia dell'esplorazione spaziale di Stati Uniti e Unione Sovietica. La mostra è divisa in cinque sezioni che permetteranno ai visitatori di immergersi in una delle storie più affascinanti e ambiziose della nostra specie: la scoperta dello spazio. Un'esperienza che inizia fin dall'ingresso, quando dovranno attraversare una passerella, la stessa che gli astronauti della NASA percorrono prima di salire a bordo degli shuttle e la stessa sulla quale, nella notte del 7 dicembre 1972, camminarono tre astronauti dell'Apollo 17 per atterrare sulla Luna. Per tutte le informazioni: http://www.ahumanadventure.it. (*cb*)

Travolti dal caso
di Joseph Mazur
Il Saggiatore, Milano, 2017, pp. 238 (euro 22,00)

L'irresistibile certezza matematica degli eventi casuali

La conferenza che si è tenuta in ottobre al Museo Egizio di Torino aveva l'impegnativo titolo *Che cos'è la matematica* ed era imperativo andarci, per vedere Joseph Mazur mostrare le sue due caratteristiche peculiari: essere un insegnante capace di trasformare in cattedra qualsiasi tavolo; amare profondamente la matematica, com'è facile vedere nella passione che trasmette anche nel parlare degli oggetti matematici più antichi e misteriosi, come gli ossi incisi con tacche vecchi di migliaia di anni. Passione e meraviglia che devono colpirlo ancora se, non troppo tempo dopo il viaggio nel tempo intrapreso in *Storia dei simboli matematici*, Mazur torna con *Travolti dal caso*, che pone come protagonisti principali una coppia di attori che raramente recitano insieme: la matematica, celebre per il suo rigore, e il caso, patrono assoluto dell'incertezza. Anzi, proprio di quel caso particolarmente muscolare e mitico che governa gli eventi rarissimi, quasi incredibili.

È davvero possibile affrontare con strumenti matematici l'incredibile fortuna della signora statunitense che in una sola vita ha vinto per ben quattro volte premi milionari alla lotteria? O quella di trovare una copia del libro che si è disperatamente e inutilmente cercata per settimane proprio sulla panchina in cui ci si è casualmente lasciati cadere per consolarsi della sua irreperibilità? Mazur pensa di sì, e non solo per la sua palese e innata fiducia nel potere semplificatore della matematica: comincia infatti raccontando una decina di eventi davvero molto improbabili, e successivamente fornisce gli strumenti matematici per delimitare, quando possibile, le probabilità dell'avvenimento. Ma non tanto per il desiderio di mostrare che, una volta misurate, le probabilità di accadimento non sono poi così irrisorie come poteva apparire a prima vista, quanto per invitare a perdersi nello stupore del dilagare dei grandi numeri, che proprio per la loro magnitudine riescono a rendere possibile, anzi, persino probabile o addirittura certo, anche quegli eventi che la nostra mente relega nell'iperuranio, lontanissimi dalla realtà.

Non per niente la quarta di copertina recita, quasi scimmiottando la celeberrima legge di Murphy: «Se esiste una probabilità anche minima che una cosa accada, è destinata ad accadere»; frase che sembra più figlia del misticismo che della logica, ma che in realtà è generata dalla razionalissima fiducia dell'indagine matematica verso le incommensurabili frontiere dei numeri che tentano (anche se vanamente) di avvicinarsi all'infinito.

Piero Fabbri

Energia e clima
di Alberto Clô
Il Mulino, Bologna, 2017, pp. 256 (euro 23,00)

Una transizione complessa ma necessaria per salvare il pianeta

Non c'è dubbio che il mondo debba fronteggiare con urgenza la più grave minaccia nella storia umana, il surriscaldamento della Terra. E l'accordo di Parigi del 2015 può essere un buon quadro entro cui farlo. Ma metterlo in pratica non sarà affatto semplice. Il vero ambientalista non è quindi chi lascia intendere che le nuove tecnologie ci stiano già portando sulla strada giusta, né viceversa chi prospetta apocalissi imminenti, bensì chi dice le cose come stanno, individuando ostacoli e possibili soluzioni, e cerca di costruire su queste basi il consenso alle azioni necessarie, che non sono indolori.

Alberto Clô, economista esperto di energia e già ministro dell'industria, cerca – pur con stile molto chiaro e leggero – di restituire la dovuta complessità alla questione, svincolandosi dalla polarizzazione tra chi nega l'evidenza del rischio e chi decanta soluzioni facili e taccia di negazionismo chiunque sollevi perplessità. Del resto lo scarto enorme tra dichiarazioni e azioni concrete, anche da parte di chi si dichiara più convinto e virtuoso, non è solo un segno di ipocrisia, ma anche delle immani difficoltà di trasformare radicalmente il sistema energetico. Tanto più di farlo – al contrario di ogni precedente storico – in tempi brevi e senza la spinta dei mercati e di vantaggi immediati per chi adotta le nuove soluzioni, se non grazie a incentivi. Per constatarlo basta qualcuno dei tanti dati con cui Clô illustra i suoi ragionamenti, analizzando gli argomenti pro e contro le tesi discusse con il corredo di una ricca bibliografia. Se è vero per esempio che dal 2004 al 2015 la potenza elettrica da rinnovabili nel mondo è aumentata di quasi otto volte, resta che in termini assoluti le fonti fossili sono cresciute oltre due volte di più, e soddisfano tuttora l'86 per cento della domanda primaria di energia contro il tre per cento delle rinnovabili.

Viste le inerzie del sistema, un'inversione dei rapporti in tempi brevi non è prevedibile, tanto più se si vogliono evitare altri guai, come un vuoto di offerta energetica (se le fonti fossili vengono dismesse troppo presto), o la permanenza dei paesi poveri in uno stato di povertà energetica.

Il libro si dipana quindi nelle analisi dei tanti risvolti della transizione energetica e di come promuoverla, puntando anzitutto sulle tecnologie, e quindi sulla ricerca, i cui finanziamenti andrebbero moltiplicati mentre oggi languono. La politica, poi, faticherà a gestire i costi e le inevitabili iniquità della transizione. Non per questo bisogna cedere alla rassegnazione. Ma bisogna lavorare cominciando dal cambiare noi stessi e il sistema di valori che ha portato alla situazione attuale.

Giovanni Sabato

Guida cosmica per curiosi di natura

L'Accademia delle Scienze di Torino ospita una mostra per viaggiare nell'universo, dall'immensamente grande all'estremamente piccolo, e per ricordare Tullio Regge

Negli anni ottanta, appena rientrato a Torino dagli Stati Uniti, Tullio Regge cominciò a «sporcarsi le mani» con la divulgazione scientifica sui quotidiani. Tra i colleghi fisici era qualcosa di inaudito, che non si accordava con la sua figura di teorico con il petto già puntellato di onorificenze. Regge non se ne è mai curato troppo e ha continuato a raccontare con le sue doti di semplicità qualsiasi tema lo incuriosisse sulle pagine de «La Stampa», su «Le Scienze» e con libri di successo.

Dalla molla di quella curiosità nasce anche questa mostra torinese che è stata costruita dai curatori Piero Bianucci, giornalista, e Vincenzo Barone, scienziato, come un «immaginario viaggio nell'universo, dall'immensamente grande all'estremamente piccolo, attraverso lo spazio, il tempo e la materia». Non è una mappa onnicomprensiva dello scibile fisico, ma un *excursus* in un territorio sconfinato e affascinante, di cui il catalogo (pubblicato da Dedalo) non può che essere una guida di viaggio: indicazioni, suggerimenti, allusioni che accendano la voglia di scoprire.

Il percorso comincia con onde gravitazionali, raggi cosmici e neutrini: sono i messaggeri dell'universo che scopriamo grazie a *exhibit* in ambienti immersivi. Nella seconda parte entra in gioco Albert Einstein, con la relatività, per cui capiamo che guardare lontano nel cosmo significa guardare nel passato. Brusco il passaggio all'infinitamente piccolo della terza sezione, dove veniamo in contatto con quanti e particelle, mentre alle forme della materia è dedicata la parte che esplora la terra di mezzo (quarta sezione): geometria, simmetrie, forme solide e fluide.

A un'idea diffusa nella fisica contemporanea riguardo a una possibile visione del tutto è dedicato il quinto continente del viaggio, mentre il ritorno a casa dell'ultima parte si concentra sul ruolo pubblico dello scienziato. Quello che Regge ha sempre rivendicato di voler e poter ricoprire fino alla scomparsa nel 2014.

Due curiosità aggiungono interesse per la mostra. La prima è la poltrona Detecma (Design, Tecnica e Matematica) che lo stesso Regge progettò nel 1967 a partire dalle soluzioni di un'equazione di quarto grado, che ci permette di intravedere come la sua fosse una curiosità a tutto tondo. La seconda è un videomessaggio di Kip Thorne, in cui il recente premio Nobel ricorda Tullio Regge e John Wheeler, e le loro fondamentali ricerche sui buchi neri.

Marco Boscolo

Dove & quando:

L'infinita curiosità
Accademia delle Scienze di Torino
Via Accademia delle Scienze, 6
Fino al 18 marzo
Info: www.accademiadellescienze.it/home.

Cortesia Compagnia di San Paolo, Andrea Guermani (*tutte le foto, 2*) ; cortesia Accademia delle Scienze (*locandina*)

Misurare la bellezza

di Guy Wilkinson

L'esperimento LHCb al CERN di Ginevra cerca le tracce di particelle invisibili ancora non scoperte che possano chiarire come funziona la natura alle scale più piccole. L'analisi dei dati ha già mostrato indizi di comportamenti strani delle particelle, che non si possono spiegare facilmente in base alle leggi fisiche per come le conosciamo oggi.

Dieci tecnologie da tenere d'occhio

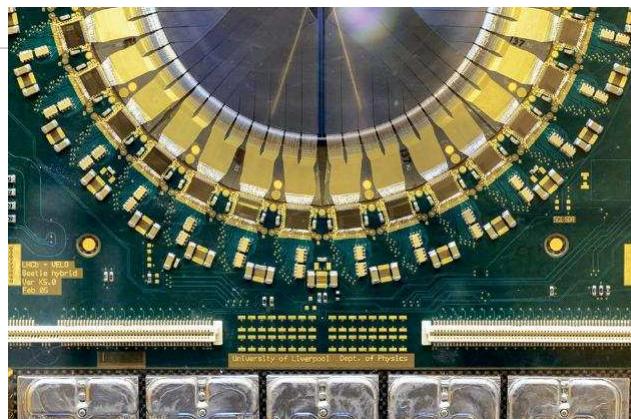
di D.J. Nelson, J. Carbeck, J.G. Martinez, A. Mishra, G. Ling, B. Bextine, S.Y. Lee, D.M. Kammen e D. Gil

Dall'estrazione di acqua dall'aria all'agricoltura di precisione, dai vaccini genomici al computer quantistico, dieci tecnologie già in fase avanzata di sviluppo che promettono di offrire importanti benefici alle società e alle economie.

La prossima grande eruzione

di Steve Olson

Nuovi metodi per sondare l'interno del Mount St. Helens, il più temuto della catena di vulcani lungo la costa occidentale del Nord America, rivelano le tortuose vie attraverso cui si sposta la roccia fusa e il cui studio può aiutare a prevedere tempi e pericolosità delle future eruzioni, per questo e per altri vulcani simili.

Alastair Philip Wuiper (*LHCb*); Diane Cook e Len Jenshel/National Geographic Stock (*vulcano*)

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - novembre 2017

ISSN 2499-0590

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief and Senior Vice President
Mariette DiChristina

President
Dean Sanderson

Executive Vice President
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Paolo Cocco: *Amore mortale*; Elisa Dalgo: *Medicina pericolosa*; Daniele Gewurz: *L'enigma del neutrino, Cassini su Saturno;* Cristina Serra: *Il primo organo del bambino;* Alfredo Tutino: *Lo stato della scienza nel mondo, Nel paese delle pistole.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia

abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00

Estero

abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8286 del 3/2/2017